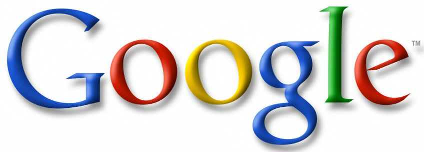
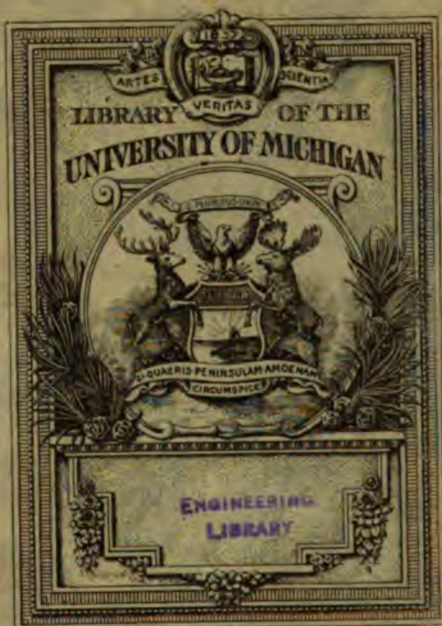



1837
ARTES
VERITAS
SCIENTIA
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
E PLURIBUS UNUM
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE



1268 — Paris. — Imprimerie Cusset et Cᵉ, rue Racine, 26.

ANNALES

DES

PONTS ET CHAUSSÉES.

MÉMOIRES ET DOCUMENTS

RELATIFS

A L'ART DES CONSTRUCTIONS

ET AU SERVICE DE L'INGÉNIEUR;

LOIS, DÉCRETS, ARRÊTÉS ET AUTRES ACTES

CONCERNANT

L'ADMINISTRATION DES PONTS ET CHAUSSÉES.

MÉMOIRES ET DOCUMENTS.

5e SÉRIE.

TOME III.

1872

1er SEMESTRE.

PARIS.

DUNOD, ÉDITEUR,

LIBRAIRE DES CORPS DES PONTS ET CHAUSSÉES ET DES MINES,

Quai des Augustins, n° 49.

ANNALES

DES

PONTS ET CHAUSSÉES

MÉMOIRES ET DOCUMENTS

RELATIFS

A L'ART DES CONSTRUCTIONS

ET AU SERVICE DE L'INGÉNIEUR.

N° 1

EXTRAITS DE L'EXAMEN

Des rapports annuels de MM. les inspecteurs généraux du contrôle de l'exploitation des chemins de fer pour l'exercice* 1868, *en ce qui concerne plus spécialement le service des ponts et chaussées.

Par M. MANIEL, inspecteur général des ponts et chaussées, secrétaire du conseil (*).

I. — Exposé.

Le décret du 15 février 1868, qui a placé le service du contrôle et de la surveillance des chemins de fer sous la direction d'inspecteurs généraux des ponts et chaussées et des mines, porte :

(*) Des circonstances de force majeure ont retardé l'insertion de ce travail. Mais on y retrouve l'empreinte encore chaude de l'homme dont la mort prématurée a laissé un vide si profond dans le Corps des ponts et chaussées.

« Art. 4. L'inspecteur général adresse au ministre des « travaux publics un rapport annuel ayant pour objet de « rendre compte de la situation du service et de constater « notamment l'état de la voie ; —l'état du matériel fixe et « du matériel roulant ; — le nombre des agents attachés au « service de la voie, du mouvement et de la traction ; — « ainsi que l'exécution des règlements relatifs au personnel ; « — les causes et les circonstances des accidents sur- « venus pendant l'année ; — les progrès de l'exploitation « technique.

« Art. 5. Le rapport de l'inspecteur général est soumis « au conseil général des ponts et chaussées, au conseil gé- « néral des mines et au comité consultatif des chemins de « fer qui donnent, chacun pour ce qui les concerne, leur « avis sur les diverses parties du service.

« Le rapport et, s'il y a lieu, les avis dont il aura été « l'objet sont insérés au *Moniteur*. »

En exécution de ces dispositions, les rapports suivants ont été rédigés pour l'année 1868 et transmis au conseil général des ponts et chaussées :

1° Rapport de M. Diday, inspecteur général des mines, sur le réseau des chemins de fer du Nord ;

2° Rapport de M. Thoyot, inspecteur général des ponts et chaussées, sur le réseau des chemins de fer de l'Est ;

3° Rapport de M. Couche, inspecteur général des mines, sur le réseau des chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée ;

4° Rapport de M. Dufresne, inspecteur général des ponts et chaussées, sur le réseau des chemins de fer de Paris à Orléans ;

5° Rapport de M. Duparc, inspecteur général des ponts et chaussées, sur le réseau des chemins de fer de l'Ouest ;

6° Rapport de M. Jacquemet, inspecteur général des ponts chaussées, sur le réseau des chemins de fer du Midi.

Le ministre, en demandant l'avis du conseil, conformé-

ment à l'article 5 précité du décret du 15 février 1868, fait remarquer que chacun des rapports a été dressé suivant les vues personnelles de son auteur, de telle sorte que l'ensemble de ces documents ne présente pas l'uniformité désirable. Il appelle, en conséquence, l'attention du conseil sur l'opportunité qu'il pourrait y avoir de former une commission spéciale, prise dans le sein du conseil général des ponts et chaussées et du conseil général des mines, et qui serait chargée d'étudier, de concert avec les inspecteurs généraux du contrôle, les bases du programme suivant lequel les documents dont il s'agit devraient être préparés à l'avenir.

Pour répondre aux demandes de Son Excellence, nous présenterons successivement l'analyse des diverses matières traitées, en rapprochant les rapports les uns des autres et en faisant suivre chaque partie des observations qu'elle suggère.

II. — Organisation du contrôle.

Quelques rapports rendent compte de la nouvelle organisation du contrôle :

Depuis le décret de février 1868, ce service, pour chaque réseau, est placé sous les ordres d'un inspecteur général des ponts et chaussées ou des mines ; cette mesure a été prise pour mieux répondre aux intérêts du service qui forçaient, en certains cas, de scinder les lignes entre plusieurs ingénieurs en chef, et aux relations avec les compagnies qui mettent souvent à la tête de leurs services des ingénieurs pris au plus haut degré de la hiérarchie.

Les inspecteurs des services commerciaux sont, depuis le décret, placés directement, comme les ingénieurs des ponts et chaussées et des mines, sous les ordres des inspecteurs généraux. En même temps, le contrôle des ingénieurs a été rendu plus immédiat, en rattachant, dans une certaine mesure, le service du contrôle du chemin de fer au service ordinaire du département.

Cette organisation ne se présente, du reste, avec tous ses éléments, que sur un seul réseau, celui de Paris à Lyon et à la Méditerranée, qui est en même temps le plus étendu. Là, le service confié à un inspecteur général des mines se divise en cinq sections d'ingénieurs en chef, dirigées respectivement par trois ingénieurs en chef des ponts et chaussées et un ingénieur en chef des mines. Pour la cinquième, l'inspecteur général fait fonctions d'ingénieur en chef.

Neuf ingénieurs ordinaires des ponts et chaussées, neuf ingénieurs ordinaires des mines, dix-neuf conducteurs des ponts et chaussées, seize gardes-mines et dix-neuf agents secondaires sont spécialement préposés au contrôle de la voie et de ses dépendances, du matériel fixe et roulant.

Deux inspecteurs principaux et un inspecteur particulier s'occupent spécialement de l'exploitation commerciale.

Enfin cent huit commissaires de surveillance complètent le service.

Sur les dix-huit ingénieurs des ponts et chaussées et des mines et les trente-cinq conducteurs des ponts et chaussées et gardes-mines, quinze ingénieurs ordinaires et dix-neuf conducteurs ou gardes-mines sont en même temps chargés d'un service ordinaire.

L'inspecteur général de ce réseau apprécie ainsi qu'il suit cette organisation mixte :

« Elle permet, dit-il, de multiplier le personnel, d'assu-
« rer ainsi l'action immédiate et la promptitude des en-
« quêtes sur les accidents, tout en utilisant complétement
« le temps et l'aptitude de beaucoup de fonctionnaires qui
« n'auraient pas trouvé une occupation suffisante dans une
« circonscription nécessairement restreinte du chemin de
« fer. Il y a cependant à cet égard, ajoute-t-il, une limite
« en dehors de laquelle on ne saurait descendre sans in-
« convénient. Par sa nature spéciale, par la marche rapide
« qu'il réclame dans l'expédition des affaires, le service du
« contrôle exige, chez ceux qui sont appelés à y prendre

« part, une continuité d'action et de préoccupation qui « exclut un trop grand morcellement. Ce service se conci- « lie bien avec les autres fonctions des ingénieurs et de « leurs auxiliaires, mais à une condition, c'est qu'ils ne « soient pas appelés à s'en occuper seulement d'une ma- « nière accidentelle et *à bâtons rompus.* »

Comme aucune réserve n'est formulée à cet égard par les autres inspecteurs généraux, on doit en conclure que les mesures prises pour rendre ainsi l'action du contrôle plus immédiate ont atteint le but que l'on se proposait sans tomber dans l'inconvénient dont M. Couche signale avec raison le danger.

III. — Substructure.

Réseau du Nord. — Le rapport signale les travaux principaux qu'a exigés l'entretien de la substructure. On peut résumer ainsi qu'il suit les indications principales :

Terrassements. — Des consolidations de tranchées et de remblais ont été nécessaires sur la ligne de Boulogne à Calais. Quelques travaux importants de même nature ont été exécutés sur la ligne d'Amiens à Rouen.

Ouvrages d'art. — Le seul ouvrage d'art important qui ait demandé des réparations méritant d'être signalées est le viaduc de Chantilly. Quatre arches, construites avec des matériaux de mauvaise qualité, ont dû être restaurées.

Réseau de l'Est. — *Terrassements.* — Le rapport mentionne surtout des drainages de tranchées, du sous-sol des remblais et du corps de quelques remblais. Les remblais argileux tassent surtout au milieu. Le mode de réparation a consisté pour ce cas en pierrées ayant leur point de départ immédiatement au-dessous du fond du creux et se dirigeant en pente vers les talus, où l'eau s'épanche par des caniveaux ou sur une surface bien gazonnée.

Ouvrages d'art. — Les travaux ordinaires de l'année ont

consisté en rechargement d'enrochements, ancrages, réfection de chapes, établissement de radiers, pose de plaques de fonte sous poutres métalliques pour faire cesser le martelage des sommiers en pierre.

Les constructions en bois (de la ligne du Mourmelon) ont exigé des soins particuliers d'entretien et des précautions contre l'incendie. Une conduite forcée, alimentée par un réservoir, s'étend sur toute la longueur de l'estacade, du pont de la Marne et du canal au tunnel de Genevreuille (ligne de Paris à Mulhouse). Par suite du gonflement du gypse, il se produit un soulèvement de fond qui était de $0^m.45$ par an. Une galerie d'asséchement établie à 8 mètres en contre-bas des rails a réduit ce soulèvement à $0^m.08$; par suite, les mouvements des pieds-droit ont diminué.

On a établi au tunnel de Montmédy (ligne de Charleville à Thionville) une galerie voûtée sur la gauche pour recueillir des eaux d'infiltration très-abondantes.

Clôtures. — Le rapport constate que sur l'ensemble du réseau, la clôture en haie vive occupe une longueur totale de 2 653 kilomètres. La clôture sèche a dû être maintenue dans quelques traversées de forêts et dans des terrains trop infertiles et s'étend sur 1 031 kilomètres.

On signale la réussite de clôtures fruitières en espalier dont l'essai remonte à trois ans.

Réseau de la Méditerranée. — La partie du rapport qui traite de l'entretien de la substructure débute ainsi :

« Les travaux d'art et les terrassements ont été exécu-
« tés sur tout le réseau avec un soin, une perfection même
« dont l'exploitation recueille les fruits. L'économie qu'on
« s'est justement attaché à introduire sur les lignes secon-
« daires à faible trafic, a été obtenue par une latitude
« beaucoup plus grande admise dans le tracé (latitude in-
« dispensable d'ailleurs dans beaucoup de cas par suite de
« la configuration du sol); par le choix judicieux des types
« d'ouvrages, des matériaux et de leur mode d'emploi,

« mais jamais aux dépens de la solidité des ouvrages, aussi « complète sur les nouvelles lignes que sur les anciennes. « Si souvent animés, comme leurs collègues de l'État, d'une « tendance à un luxe inutile, d'une prédilection systéma- « tique pour les solutions coûteuses, les ingénieurs de « la compagnie ont prouvé qu'ils savaient faire à l'éco- « nomie la part si légitime, si nécessaire même qui lui « appartient. »

Terrassements. — Il a fallu réparer les dégâts produits par des pluies torrentielles après une sécheresse prolongée (ligne de Villefort). Il a fallu refaire, en les surélevant, des remblais qui ont été surmontés par l'Arc (ligne du Rhône au mont Cenis, travaux faits par la compagnie du Victor-Emmanuel).

Ouvrages d'art. — On a dû reconstruire avec de plus grandes ouvertures ou de nouvelles précautions plusieurs ouvrages d'art que l'Arc avait détruits (ligne du Rhône au mont Cenis, travaux de la compagnie Victor-Emmanuel).

Réseau d'Orléans. — *Terrassements.* — Sur la ligne d'Aurillac, la circulation a été interrompue pendant quelques jours. A la suite de grandes pluies, les eaux ont provoqué des éboulements et des glissements considérables. Les réparations ont été bien et rapidement exécutées. Des travaux préventifs ont été en outre exécutés pour prévenir autant que possible le retour de pareils accidents.

Ouvrages d'art. — Les travaux de réparation n'ont eu aucune importance.

Réseau de l'Ouest. — *Terrassements* — A l'égard des terrassements, les travaux ont consisté en perrés, murs de soutenement et plantations suivant les cas, en rechargements dans les marais d'Isigny. Le rapport constate qu'il ne se manifeste plus de tassements dans ceux de Carentan.

Ouvrages d'art. — Les ponts en charpente sont arrivés au terme de leur durée; on les remplace par des tabliers en tôle. A Caen, on a dû reconstruire la travée en tôle du pont

des Abattoirs, dont les formes avaient subi une déformation inquiétante.

Clôtures. — On signale de fréquents bris de clôture par des bestiaux qui s'introduisent sur la voie. (Voir au chapitre des accidents.)

Réseau du Midi. — *Terrassements.* —Entre Bayonne et Hendaye, des terrassements que l'on croyait tout à fait assis ont éprouvé de grands éboulements par l'effet des pluies à la suite d'une longue sécheresse qui avait fortement crevassé le terrain. Il s'est produit des tassements importants dans les marais de Barthe à vase sans fond (ligne de Toulouse à Bayonne, entre Peyrorade et Bayonne). Quoique cette partie de ligne soit en exploitation depuis quatre ans, l'équilibre ne s'est pas encore établi entre la résistance du sous-sol et la charge qu'il porte. On signale des constructions de murs de soutènement.

Ouvrages d'art. — Le rapport constate la remise à la ville de Bordeaux de la passerelle accolée au pont sur la Garonne; les suintements du pont sous le canal à Agen qui se sont montrés dès l'origine et qui, quoique importants, ne sont pas dangereux.

La plupart des ponts métalliques de Bordeaux à Bayonne ont été réparés. — On a substitué des tabliers en tôle à d'autres en charpente sur la ligne de Graissessac. On a dû donner des soins particuliers aux ponts des marais de Barthes (ligne de Toulouse à Bayonne) qui flottent en quelque sorte, sans fondations spéciales, sur la vase du fond.

Clôtures. — Les clôtures avec pieux et lisses de 0m.10 de largeur pourrissent rapidement. On les remplace par des piquets plus séparés, reliés par quatre rangs de fil de fer horizontaux (type adopté). Les clôtures fruitières sont à l'essai sur le réseau. Les clôtures présentent une continuité satisfaisante interrompue seulement par quelques lacunes momentanées dues à des incendies.

Observations. — Tous les rapports signalent le bon état

des lignes et les soins donnés par les compagnies à l'entretien.

Il y a toujours intérêt à rappeler les conditions de bonne construction des ouvrages : grande solidité et économie; bons types sans luxe.

Le rapport sur le réseau de la Méditerranée constate que là ces conditions sont remplies. On peut dire qu'on y a satisfait généralement pour tous les réseaux, sauf de rares exceptions. Cela devait être, car ces conditions étaient depuis longtemps dans les traditions des ingénieurs de l'État qui ont généralement formé le personnel des compagnies.

IV. — Gares, stations et batiments divers.

L'entretien simple n'est pas ce qui doit ici fixer l'attention. Il est partout signalé comme satisfaisant et ne comporte guère de détails instructifs.

L'important se trouve dans la construction de gares définitives, là où l'on n'en avait établi que de provisoires, et dans les travaux d'agrandissement exécutés pour mettre les gares et stations anciennes en rapport avec le trafic acquis déjà et avec l'accroissement probable du mouvement des voyageurs et des marchandises. Une énumération succincte donnera l'idée de ce qui a été fait en 1868.

Réseau du Nord. — A Lille, continuation de la gare nouvelle des voyageurs qui est très-avancée. Modification importante à Boulogne à cause de l'ouverture de la ligne de Calais. Remaniement complet de la gare d'Amiens, par le même motif et surtout à cause des nouvelles lignes d'Amiens à Rouen et à Tergnier. Bâtiments définitifs à huit stations.

Réseau de l'Est. — On signale des modifications pour amélioration de service. Construction d'annexes. Développement de quais sans en donner la nomenclature pour ne pas faire double emploi avec les rapports mensuels. Tous les projets, dit le rapport, ont été préalablement soumis, sui-

vant leur degré d'importance à l'approbation supérieure ou à l'adhésion de l'inspecteur général.

Réseau de la Méditerranée.—Le rapport ne donne aucune indication à cet égard.

Réseau d'Orléans. —Reconstruction de la gare de Paris. — Bâtiment des douanes et clôture de la gare d'Ivry. —A la gare de Paris (Montrouge), agrandissement pour les marchandises et le matériel. — Construction définitive et agrandissement de seize gares, parmi lesquelles Orléans, Tours, Angoulême, etc. — Compléments moins importants, marquises et accessoires dans diverses autres gares et stations.

Réseau de l'Ouest.—Agrandissement de la gare de Paris. — Suppression des tunnels de la place de l'Europe et troisième voûte sous les Batignolles. — Remaniement complet des voies, etc. — Construction, agrandissement ou remaniement de neuf autres gares.

Réseau du Midi. — Des agrandissements plus ou moins considérables ont été faits dans un grand nombre de gares. Les plus importants concernent les gares de Bordeaux, Agen, Toulouse, Béziers, Cette (bassin maritime). La gare de Saint-Jean, à Bordeaux, est encore à l'état provisoire et elle va recevoir des agrandissements de même nature. Quoique cette situation laisse à désirer, comme le service n'en souffre pas essentiellement, il y a lieu d'attendre pour exiger une gare définitive que la gare actuelle soit hors de service.

L'inspecteur général regrette, dans l'intérêt de l'exploitation, que sur plusieurs lignes secondaires, la compagnie ait renoncé à loger les chefs de station.

Observations.—Les rapports montrent qu'on a beaucoup fait pour les stations en 1868; mais il reste beaucoup à faire. Les comptes rendus sont assez explicites à cet égard.

On aurait été bien aise d'y trouver aussi des relevés de faits qui seraient de quelque utilité pour l'avenir.

Une station qu'on est amené à agrandir donne, jusqu'à

un certain point, la mesure de sa puissance actuelle. Des rapprochements faits à ce moment entre l'étendue des établissements et le trafic ou le service correspondant fourniraient des enseignements précieux.

Il y aurait également utilité à faire ressortir les types les plus importants qui prévalent, comme aussi les innovations qui surgissent. Dans ces dernières années, par exemple, l'augmentation du trafic a conduit à développer à part, ou du moins en dehors des voies ordinaires, des services de triage de wagons, de composition ou de décomposition des trains. Les rapports se taisent en général sur ces questions, peut-être parce qu'elles ont trait plus particulièrement à la construction, et que, par rapport à l'exploitation, le besoin constaté est la meilleure base d'appréciation.

Le rapport sur le réseau de l'Est donne toutefois, parmi ses annexes, des tableaux (n° 6) qui touchent à ce sujet. Ces tableaux présentent, pour les gares les plus importantes du réseau, les superficies totales et couvertes tant pour le service des voyageurs que pour le service des marchandises, le nombre de changements et de croisements de voies ; celui des plaques tournantes de divers diamètres et des chariots pour voitures ; des réservoirs des grues hydrauliques, le nombre et la force des appareils de chargement.

Des travaux analogues seraient à fournir pour chaque ligne, surtout pour les grandes gares et celles dont l'agrandissement partiel ou total devient nécessaire ; mais il faudrait détailler davantage les données. Il ne serait pas sans intérêt, par exemple pour les marchandises, de considérer les arrivages et les départs séparément, en mettant toujours en regard le trafic correspondant. Des relevés analogues pour les ateliers, remises du matériel, etc., sans oublier le développement successif des diverses catégories de voies, ne seraient pas moins utiles.

V. — Entretien des voies.

L'entretien de la voie est signalé par tous les rapports comme étant l'objet de soins qui la maintiennent dans un état très-satisfaisant, au moins partout où le ballast est de bonne qualité.

Réseau du Nord.—*Ballast.* —Sur plusieurs points de la ligne, le ballast trop sableux a été remplacé par du laitier qui a donné de très-bons résultats et a rendu l'entretien de la voie beaucoup plus facile.

Traverses. — On emploie, dans les parties où le mouvement est moins considérable, les traverses encore bonnes provenant des parties de voie refaites.

On a aussi employé à titre d'essai quatre mille traverses en tôle entre Saint-Ouen et Auvert, et sept cent soixante-douze entre Saint-Denis et Gonesse. Elles se sont bien comportées jusqu'à présent (on ne dit pas depuis quand) ; mais on ne peut pas émettre encore une opinion définitive sur l'emploi de ce genre de supports.

Rails et accessoires. — Le renouvellement partiel se fait avec des matériaux encore bons retirés des voies ou avec des matériaux neufs et de manière à conserver à la voie la plus grande homogénéité possible.

Réseau de l'Est. —*Ballast* — On reconnaît de plus en plus la nécessité d'avoir du ballast pur et très-perméable sur plate-forme bien asséchée. Depuis 1863, on a consacré 200 000 francs par an à remplacer le ballast friable ou terreux par du gravier bien pur ou de la pierre cassée très-également.

Traverses. — On emploie à l'entretien les bonnes vieilles traverses provenant des parties de voies réfectionnées, et par complément, des traverses neuves, mais le moins possible.

On a employé, faute de chêne, du hêtre préparé au sul-

fate de cuivre ; expérience faite, on se trouve mieux du hêtre préparé à la créosote; le pin préparé à la créosote a été aussi mis en œuvre, mais on lui préfère le hêtre qui, plus dur, retient mieux les tire-fonds.

On a fait aussi quelques essais de traverses en fer de plusieurs profils. Ils ont assez bien réussi jusqu'à ce jour; mais ces essais sont encore trop récents pour qu'on en puisse tirer aucune conclusion formelle.

Rails et accessoires. — On n'emploie plus maintenant de rails neufs pour l'entretien courant des voies anciennes; on se procure pour cet objet une quantité suffisante de rails vieux encore bons en réfectionnant chaque année une longueur de voie suffisante. On maintient ainsi les voies anciennes dans un état aussi égal et aussi satisfaisant que possible. Ce mode règle l'aménagement de la réfection.

Réseau de la Méditerranée.—*Ballast.*— On remplace le gravier de carrière trop argileux, soit par du gravier de rivière, soit par de la pierre cassée.

Traverses. — La compagnie de la Méditerranée a une des premières essayé les traverses en fer (type dit *de Fraisans*); mais le succès est médiocre; la rupture des supports au droit des rails et les dislocations des attaches sont fréquentes. La compagnie n'a donc pas l'intention de développer cette expérience, dont la rapide détérioration des traverses en bois rendait le succès si désirable.

Réseau d'Orléans. — *Ballast.* — Le ballast laissant à désirer sur beaucoup de points où il était un peu terreux ou d'une nature argileuse, la compagnie s'est appliquée à réaliser à ce sujet une véritable amélioration, en remplaçant l'ancien ballast partout où il était défectueux par de la pierre cassée ou du sable de bonne qualité. En 1868, on a ainsi remplacé 320 000 mètres cubes.

Traverses. — Rien de particulier sur les traverses. On a employé, en 1868, cent quatre-vingt-dix milles traverses neuves.

Réseau de l'Ouest.—*Rails et accessoires.*—On change à temps les rails altérés.

Réseau du Midi.— *Rails et accessoires.* — Les rails défectueux ont été retirés et remplacés. La longueur de voie ainsi renouvelée proportionnellement aux longueurs totales, s'est maintenue pour les sections à deux voies entre $\frac{1}{85}$ et $\frac{1}{20}$, et pour les sections à une voie unique entre $\frac{1}{160}$ et $\frac{1}{133}$.

Le système des éclisses a été aussi amélioré. Les petites éclisses doubles précédemment en usage avaient l'inconvénient de permettre le décoinçage des rails par l'effet de la trépidation qu'occasionne le passage des trains. On leur a substitué de grandes éclisses simples qui maintiennent l'écartement entre les coussinets voisins des joints et qui, par suite, empêchent le décoinçage de se produire.

Observations. — La nécessité d'employer du ballast de bonne qualité est ce qui ressort le plus clairement de cette partie des rapports.

On le recherche bien perméable. Le sable et le gravier très-purs, le laitier, la pierre cassée également ont la préférence.

On repousse les matériaux friables ou terreux; ils retiennent l'eau et finissent par se transformer en boue sous l'influence de la pluie, en masses compactes sous l'influence de la gelée, toutes circonstances qui rendent l'entretien continu impossible ou très-difficile.

La question des traverses en fer est à l'ordre du jour; déjà en supposant une durée double, elles ne coûteraient guère plus cher que celles en bois; bientôt sans doute elles seront moins coûteuses. En tout cas, elles donneront des facilités d'approvisionnement précieuses.

Obtiendra-t-on, avec de telles traverses, une voie suffisamment douce et de bonnes garanties pour la sûreté de la circulation? On peut l'espérer. Ces questions, du reste, seront bientôt élucidées par les essais que l'on tente et qui

par leur généralité montrent assez l'importance qu'on attache à cette étude (*).

Le système le mieux accusé pour le choix des rails, traverses, etc., destinés à l'entretien des voies, est celui de la compagnie de l'Est. Il se formule ainsi : aménagement de la réfection de manière à ce qu'elle fournisse de bons matériaux vieux en suffisante quantité pour l'entretien des parties conservées du même système. Toutes les autres compagnies semblent, du reste, tendre plus ou moins vers le même mode qui doit avoir pour résultat de conserver aussi bien que possible l'homogénéité de la voie.

VI. — Réfection des voies.

Réseau du Nord. — Les voies du Nord ont été établies d'abord avec des rails à double champignon, les premiers de 30 kilogrammes par mètre courant, les seconds de 37 kilogrammes; depuis 1855, on a donné la préférence au rail Vignole de 37 kilogrammes.

Les rails étaient d'abord tous en fer; on en emploie maintenant en acier Bessemer.

Le renouvellement intégral des portions de voies considérées comme défectueuses se fait maintenant avec toute l'activité désirable. Combiné avec l'entretien, il paraît offrir des garanties aussi complètes que possible pour la sûreté de la circulation.

Les rails et les traverses qu'on retire des voies ainsi renouvelées sont classés suivant le degré d'usure, en différentes catégories; quelques-uns peuvent encore servir pour réparer des parties de la voie principale où le mouvement

(*) La compagnie de la Méditerranée, qui continue ses expériences en France sans les étendre quant à présent, emploie des traverses en fer sur les chemins algériens.

est moins actif. Les autres sont employés dans des garages ou définitivement réformés.

En 1868 on a renouvelé 150 kilomètres environ de simple voie (un vingtième du développement total des voies principales).

Sur cette longueur, 24 kilomètres environ ont été établis en rails d'acier Bessemer, sur les points qui fatiguent le plus, c'est-à-dire sur la voie de droite de la ligne de Paris à Creil par Pontoise; les parties en pente de la ligne de Chantilly, quelques parties de voies des gares de la Chapelle et de Tergnier.

Les rails en fer ressortent à 190 francs la tonne; les rails en acier Bessemer à 350 francs. L'expérience est encore trop récente pour que l'on puisse prévoir si la différence dans la durée compensera l'augmentation de dépense. Cependant les premiers résultats sont assez encourageants pour décider la compagnie à faire de nouvelles commandes.

Réseau de l'Est. — Le réseau de l'Est a été d'abord établi avec des rails à double champignon de 25, 30, 35 et $37^k.50$ par mètre courant. Une partie des rails de 35 kilogrammes était à double champignon non symétrique. La compagnie emploie maintenant des rails Vignole de 35 à 36 kilogrammes par mètre (ligne d'Alsace) et de $37^k.50$ (Paris à Strasbourg). Le type ordinaire est le rail de 6 mètres de longueur et de 37 kilogrammes par mètre courant.

Les voies primitives ont été refaites entièrement sur une longueur de simple voie de $3416^k.339$, et dans cette longueur on a refait pour la deuxième fois $1418^k.418$.

Les rails de 25 kilogrammes posés sur la ligne de Strasbourg à Bâle et à Thann ont duré dix-huit ans six mois.

Ceux de 30 kilogrammes, de la ligne de Montereau à Troyes, ont duré quatorze ans et trois mois. Mais il en reste encore sur cette ligne qui sont en place depuis vingt ans.

Le rails remplacés de la ligne de Mulhouse, de 35 kilo-

grammes, n'ont duré que sept ans et dix mois. Comme il reste beaucoup de ces rails en place, la durée moyenne calculée sur l'ensemble ne peut pas être encore déterminée exactement.

Même en tenant compte de l'augmentation du poids des machines et de l'accroissement du trafic depuis l'origine, circonstances qui ont eu pour conséquence de hâter la mise hors de service des rails, il est bien évident que les rails légers de l'origine étaient d'une qualité supérieure à celle des rails qu'on a fournis depuis; de sorte que l'abaissement des prix n'a pas été un gain absolu et doit être attribué en partie à des mélanges de minerais et à des procédés de fabrication moins satisfaisants.

De 1863 à 1868, le nombre de traverses remplacées annuellement par des traverses neuves, soit pour l'entretien, soit pour le renouvellement, a passé de 104075 à 337254, ou, en rapportant ces chiffres au nombre total des traverses des voies, de 29 p. 100 à 80 p. 100.

Le rapport de l'Est ne fournit pas de renseignements sur l'emploi des rails en acier.

La compagnie de l'Est vient d'appliquer, sur 10 kilomètres, la voie Hartwich, composée de deux rails Vignole de $0^m.23$ de hauteur et de $0^m.125$ de largeur de patin, reliés par deux cours d'entretoises en fer rond et reposant directement sur le ballast sans traverses; elle coûte à peine autant que la voie ordinaire en rails Vignole. Il faut attendre les enseignements de l'expérience pour la juger.

Réseau de la Méditerranée.—Le rapport ne s'explique pas sur l'importance des réfections faites, mais il entre dans des détails précis sur les résolutions prises quant au système de voie à adopter pour la réfection de la ligne de Paris à Marseille.

Le réseau de la Méditerranée, formé de lignes provenant des différentes administrations, offre de nombreux types de rails. De Paris à Lyon, le rail à double champignon symé-

trique avait été adopté; de Lyon à Marseille on avait accordé la préférence au rail à double champignon non symétrique (36k.25); sur la ligne du Bourbonnais, le rail Vignole (36 kilogrammes) avait prévalu. Tous ces rails étaient en fer.

Aujourd'hui, pour la réfection de la voie de Paris à Marseille, la compagnie vient d'adopter le rail Vignole en acier Bessemer du poids de 39k.750 par mètre courant. L'excédant de poids qu'il présente sur les anciens types a pour objet l'élargissement du patin, afin d'augmenter la surface de pose sur les traverses et de permettre de faire passer les chevilles ou tire-fonds à travers le patin pour faire concourir le clouage intérieur comme le clouage extérieur à la résistance contre les poussées latérales.

Les rails de 6 mètres de longueur doivent porter sur huit traverses avec joints en porte-à-faux. Ces espacements sont ainsi :

2 porte-à-faux, 2 (0.30).	0.60
2 portées extrêmes, 2 (0.70).	1.40
5 portées intermédiaires, 5 (0.80).	4 00
Total	6.00

L'écartement entre les traverses comprenant le joint est de 0m.604, avec le jeu de 0m.004 pour le joint.

L'écartement moyen des traverses est seulement de 0m.75, soit de 25 p. 100 moins grand qu'à présent.

Pour ce travail, la société de Terre-Noire et Bességes a accepté une commande de 60 000 tonnes de rails en acier à 314 francs. Elle les fabrique en passant directement aux convertisseurs la fonte prise à la sortie des hauts fourneaux dont le lit de fusion est composé en conséquence.

Le rapport apprécie ainsi cette commande :

« Cette production régulière, sûre d'elle-même, complé-
« tement industrielle en un mot, d'acier Bessemer avec la
« fonte de première fusion, est un progrès qui a la portée

« d'une révolution économique et qui n'était possible « qu'avec le concours d'une puissante compagnie de che-« mins de fer. L'élan est donné, il ne s'arrêtera pas. »

Réseau d'Orléans. — Le rapport sur le réseau d'Orléans ne donne aucun renseignement spécial sur les réfections qui se trouvent confondues dans une courte indication avec les travaux ordinaires d'entretien.

Pour l'ensemble, comme il a été dit plus haut, les rails neufs employés en 1868 représentent un poids de 19400 tonnes, dont 2300 tonnes en acier et 500 tonnes en fer cémenté extérieurement.

Le rapport ne dit rien de la forme des rails.

Réseau de l'Ouest. — Le rapport ne fait pas mention du genre de rail employé par la compagnie.

La réfection a porté, en 1868, sur $96^k.644$, dont $37^k.075$ en rails en acier.

On avait déjà renouvelé avec de tels rails, pendant les années antérieures, une longueur de voie de $13^k.912$, ce qui porte à $51^k.587$ la longueur totale des voies en acier existant au 1er janvier 1869.

Les rails en acier Bessemer coûtent, rendus aux Batignolles (marché de 1868), 355 francs la tonne, les rails en fer 178 francs exceptionnellement et 200 francs en règle ordinaire. Avec ce dernier chiffre, le mètre courant de voie en fer, avec huit traverses par longueur de rail de 6 mètres, revient à $28^f.62$.

Avec rails et éclisses en acier, le même nombre de traverses et coussinets à large semelle, le mètre courant coûte $43^f.59$.

L'augmentation de 50 p. 100 environ qui en résulte n'a pas arrêté la compagnie dans l'emploi des rails en acier sur les points où les voies se trouvent exposées à une fatigue exceptionnelle, mais cet emploi n'a lieu que dans la mesure du renouvellement reconnu nécessaire des rails en fer.

Cette détermination de la compagnie en faveur des rails

en acier est justifiée par la durée notablement supérieure qu'on doit en attendre d'après des expériences qui remontent à 1860.

La durée plus grande des rails en acier, en compensant l'excédant de prix, présentera en outre l'avantage d'éloigner les époques de renouvellement et de diminuer ainsi les chances d'accident.

Quelques ruptures de rails en acier sur la voie sont dues à des fentes produites par le perçage des rails au poinçon. Cette opération se fait maintenant à la mèche.

Réseau du Midi.— La compagnie du Midi avait d'abord établi ses voies avec des rails Barlow sur la ligne principale et avec des rails Brunel sur la ligne de Bordeaux à Bayonne. Elle a remplacé ces types par le rail à double champignon symétrique qu'elle paraît préférer à tous les autres.

Les rails Barlow ont complétement disparu des voies principales. La compagnie les a utilisés autant que possible à des constructions de viaducs, de supports, de réservoirs, etc.

Les restes de voie Brunel qui existaient encore entre Morcenz et Mont-de-Marsan seront successivement supprimés. Sur la ligne de Béziers à Graissessac, la compagnie poursuit aussi la réfection des parties de voie en rails Brunel. Il ne reste plus que 4500 mètres de voie à remplacer.

Le rapport ne dit pas que la compagnie ait fait emploi de rails en acier dans la voie courante, mais il résulte des renseignements recueillis qu'elle a commencé à employer des rails en acier en 1864 (100 tonnes) et que, à la fin de 1868, les commandes faites successivement s'élevaient ensemble à 4200 tonnes. La commande de 1864 a été conclue à 600 francs la tonne, et la compagnie vient de traiter en octobre 1869 pour 1400 tonnes à 310 francs avec la compagnie des forges de Terre-Noire.

Observations. — Quand on a commencé les chemins de fer en France, les rails en fer coûtaient plus de 400 francs la tonne et l'acier le plus ordinaire 2000 francs. Maintenant les rails en fer coûtent couramment 200 francs. Les rails en acier (en acier Bessemer au moins) se traitent couramment par petits marchés de 350 à 360 francs, et pour un grand marché (60000 tonnes) la compagnie de la Méditerranée a pu conclure à 314 francs (*). A ce taux, la substitution de l'acier au fer pour les rails n'augmente guère que d'un quart le prix de la voie, ballast compris.

L'accroissement incessant du trafic, les fortes déclivités, l'emploi de l'acier pour les bandages des roues, l'usure rapide de la voie qui s'ensuit, les difficultés d'entretien qu'elle amène, l'écart de prix de plus en plus faible entre le fer et l'acier, ont conduit naturellement à l'emploi de ce dernier. La plupart des compagnies ne font encore que des essais (assez importants il est vrai) sur les parties de voie les plus fatiguées. La compagnie de la Méditerranée se décide pour l'application sur la ligne entière de Paris à Marseille (872 kilomètres), et le prix de 314 francs qu'elle a obtenu peut dès à présent être considéré comme acquis pour tous. La fabrication de l'acier Bessemer avec de la fonte prise directement au haut fourneau a été établie d'emblée depuis longtemps dans les forges alimentées naturellement de minerais convenables, et elle s'étendra facilement à celles qui doivent aller chercher plus ou moins loin les éléments d'un lit de fusion satisfaisant.

Dès à présent on peut être certain que l'emploi des rails en acier s'étendra de plus en plus. C'est là une question décidée.

On peut presque en dire autant du gabarit des rails. On n'emploie plus guère maintenant en France que deux modè-

(*) En octobre 1869, comme nous l'avons dit plus haut, la compagnie du Midi a conclu un marché de 1400 tonnes à 310 francs.

les : le rail à double champignon symétrique qui perd du terrain et le rail Vignole qui en gagne.

On fait une excellente voie avec le rail à double champignon-éclissé ; on en fait de non moins bonnes, de plus simples et plus économiques avec le rail Vignole. La compagnie du Nord a donné l'exemple de son emploi en 1855. La compagnie de l'Est a suivi ; la compagnie d'Orléans l'applique au moins sur ses nouvelles lignes ; la compagnie de la Méditerranée, qui avait hésité jusqu'à présent, vient de se décider avec éclat, et ce résultat est d'autant plus significatif qu'elle a déjà, dans son réseau, une grande variété de types.

Nous croyons que le chemin de fer de l'Ouest continue à employer exclusivement le rail à double champignon et l'on comprend que la compagnie du Midi, qui n'a pas été heureuse à ses débuts dans le choix de ses types, se tienne au modèle à double champignon qu'elle leur a substitué, qui lui donne une bonne voie et assure, par son emploi exclusif, une simplification du service.

A l'occasion des réfections de voie et même par l'étude courante du besoin de l'entretien, on est sans doute arrivé à constater les degrés d'usure des rails suivant les conditions de tracé en plan et en profil. Les rapports ne donnent à cet égard aucun résultat. Les faits établis doivent cependant servir à régler de quelle manière il conviendrait de répartir les rails en acier pour en tirer le meilleur parti possible, tant qu'on n'en fait que des emplois partiels.

M. Thoyot a recueilli d'utiles renseignements sur la durée des matériaux de la voie. Ils n'ont pas encore toute la précision désirable, parce qu'il n'existe pas de constatations suffisantes. Il serait utile que, sur chaque réseau, on reprît cette question pour mieux se rendre compte de la part qu'il faudra faire aux dépenses de réfection dans les budgets de l'avenir au compte d'exploitation.

Les rapports ne disent rien ou presque rien sur la pose

de la deuxième voie, qui a cependant des relations importantes avec l'exploitation.

Les conséquences du développement continu du trafic se montrent d'abord dans les agrandissements des stations ; là elles sont accusées au jour le jour et dans tous leurs détails ; la nécessité de l'addition de nouvelles voies courantes se fait sentir à plus longs termes, mais elle entraîne à des dépenses considérables, et sous ce rapport mérite une attention particulière.

Déjà sur quelques lignes établies et exploitées d'abord à une voie, on a construit ou l'on se décide à construire la seconde. Parmi les lignes établies à deux voies à l'origine, ces deux voies ont paru, en certaines sections, insuffisantes. On a fait des voies supplémentaires, on a dédoublé des lignes.

Ne serait-il pas utile de donner la relation de ces faits avec les éléments influents de la question, comme l'importance du trafic, la diversité des vitesses des trains, etc. ?

On pourrait encore signaler avec fruit, au courant de l'exploitation, les sections à une ou à deux voies les plus chargées, le service qu'elles font et, par induction, celui qu'on peut en attendre ?

VII. — APPAREILS PARTICULIERS DE LA VOIE ET PASSAGES A NIVEAU.

Réseau du Nord.— La compagnie a commencé en 1859 à faire emploi de l'acier fondu dans les changements et croisements de voie. L'acier que fournissaient alors les usines de MM. Petin et Gaudet coûtait 931 francs la tonne. Les pièces en acier Bessemer brutes de forge sont livrées maintenant par l'usine d'Imphy à 555 francs.

Du 25 juin 1859 au 30 juin 1868, il a été posé 17660 pièces en acier. Au 31 décembre 1868, 377 de ces pièces avaient été remplacées après une durée moyenne de deux

ans et onze mois. La moyenne annuelle des rebuts est de 0.073 p. 100, tandis que pour les pièces en fer le renouvellement s'élevait à 33 p. 100. Aussi remplace-t-on les pièces en fer par des pièces en acier à mesure que les premières sont hors de service.

On substitue partout des plaques tournantes de 4m.20 de diamètre à celles de 3m.40 qui avaient été posées dans le principe.

Il existe encore sur le Nord des barrières de passage à niveau à lisse et à tourniquet. Leur remplacement devra se faire conformément à la décision ministérielle du 27 juillet 1867.

Réseau de l'Est. — Les anciennes barrières des passages à niveau sont presque toutes en bois et exigent de fréquentes réparations. On emploie actuellement des barrières en fer.

D'après la nature des barrières, les 2 230 passages à niveau se classent ainsi :

Avec barrières en fer	84	2 230
Avec barrières en bois roulantes et pivotantes	1418	
Avec lisses glissantes	212	
Avec barrières manœuvrées à distance	275	
Portillons (passages de piétons isolés)	241	

On pavait autrefois tous les passages à niveau pour voitures, mais il fallait incessamment démolir les pavages pour l'entretien. On a pris le parti de substituer aux pavages des empierrements maintenus par des contre-rails. Ce système a bien réussi, et l'expérience a démontré qu'il n'offre aucun des inconvénients dont on s'était préoccupé à l'origine.

Réseau de la Méditerranée. — Le rapport constate que les appareils sont des meilleurs types et bien entretenus. Il fait connaître qu'à Moret, gare de bifurcation des lignes de la Bourgogne et du Bourbonnais, deux changements de voie

sont manœuvrés par un seul et même levier à une distance de $62^{m}.50$ et qu'on vient d'établir à cette bifurcation un poste spécial dans le système anglais, où se concentre tout le service des aiguilles.

Le principe de l'ingénieux système d'enclanchement du disque et des aiguilles, imaginé par M. Vignier, a été appliqué en Angleterre avec la manœuvre à distance des aiguilles. On a réussi ainsi dans les gares intérieures de Londres, où s'opère un énorme mouvement de voyageurs et de marchandises, à supprimer complétement les aiguilleurs ambulants. Tout part du poste avancé. C'est lui qui manœuvre les aiguilles, qui fait les signaux et, grâce à l'enclanchement, toute erreur est matériellement impossible. C'est un observatoire de ce genre qui a été établi à Moret. Cet essai conduira probablement à d'autres applications, par exemple à des gares qui, comme celle de Perrache, sont le siége d'un mouvement fort actif.

Réseau d'Orléans. — Le rapport se contente de signaler que l'entretien des changements, croisements de voie, plaques tournantes, etc., a été bien fait; qu'on a établi les nouvelles installations nécessaires et que l'entretien des barrières et autres accessoires des passages à niveau n'a rien laissé à désirer.

Réseau de l'Ouest. — La compagnie emploie exclusivement l'acier, depuis environ dix ans, pour les changements et croisements de voie. Le poids des aciers employés à cet usage a été de 916 tonnes, dont 409 tonnes en acier fondu et 507 tonnes en acier Bessemer.

Réseau du Midi. — Les changements et croisements de voie sont signalés comme étant d'un excellent modèle et très-bien entretenus. On commence à faire usage sur une grande échelle d'aiguilles et de croisements en acier fondu.

On signale deux plaques tournantes employées à Bayonne, faisant partie d'un système en triangle sur des voies princi-

pales et munies d'un mécanisme ingénieux qui, après des révolutions de 45°, ramène les plaques de manière à éviter les accidents.

Les barrières tournantes en bois, adoptées primitivement pour les passages à niveau, laissent généralement beaucoup à désirer, les bois s'avariant rapidement. La compagnie a renoncé à ce système, qu'elle remplace successivement par des barrières en fer roulantes, très-légères, d'un maniement facile et d'une durée presque indéfinie.

Observations. — Pour les changements et croisements de voie dont l'usure est extrêmement rapide, soit à cause de la réduction de l'équarrissage des pièces, soit à cause des faibles largeurs sur lesquelles portent les roues, soit encore à cause des chocs fréquents au passage des trains sur ces appareils, l'acier s'est complétement substitué au fer, et cette substitution a commencé déjà quand l'acier coûtait encore 931 francs la tonne (1859).

La transmission de mouvement à distance a été appliquée, dès l'origine des chemins de fer en France, à la bifurcation d'Asnières. L'angle de croisement étant très-aigu, on avait substitué à la pointe fixe une aiguille mobile, conjuguée par renvoi de mouvement avec le changement de voie. Un seul levier manœuvrait l'ensemble.

On en a fait ensuite de nombreuses applications, surtout dans les grandes gares, pour reporter les leviers de manœuvres dans les zones libres de voies. Avec ces dispositions, les aiguilleurs doivent encore se déplacer pour leur service, mais ils n'ont plus à traverser les voies de circulation, ce qui est l'essentiel.

Les Anglais sont allés plus loin et ont supprimé complétement les aiguilleurs ambulants aux têtes de gare, en ramenant systématiquement à un poste unique, par des transmissions de mouvement plus développées, tous les appareils de manœuvre de changement de voie important, combinés avec les signaux d'après le système Vignier. Une applica-

tion de ce système vient d'être faite à la gare de Moret, et comme il présente des avantages dans des cas spéciaux, on en fera certainement des applications plus fréquentes en France à mesure que la complication des voies augmentera.

Nous nous contentons de noter que la compagnie de l'Est substitue l'empierrement aux pavages pour les chaussées des passages à niveau.

L'emploi de barrières roulantes et en fer pour la fermeture des passages à niveau est plus général et gagne sur tous les réseaux. C'est le système le plus efficace, le moins gênant pour la manœuvre et le plus durable.

VIII. — Signaux de la ligne.

Réseau du Nord. — Les signaux fixes consistent surtout en disques manœuvrés à distance pour couvrir les bifurcations dans les trois directions et les stations des deux côtés. Tous les disques qui ne sont pas visibles du point où on les manœuvre sont munis d'une sonnerie électrique qui accuse si le signal ferme la voie ou non. Cette sonnerie, dite *trembleuse*, se fait entendre tant que le signal ferme la voie et cesse dès qu'il l'ouvre. Le nombre total des disques établis est de 676, dont 412 avec sonnerie.

Sur les sections à une voie, de Soissons à Laon et d'Amiens à Tergnier, on a installé un système de sonnerie très-répandu en Allemagne. Des cloches à contre-poids avec déclanchement électrique placées dans les stations et sur divers points de la voie, notamment auprès des passages à niveau, sont mises en mouvement par la gare d'où le train part. Elles annoncent aux agents de la ligne, par des combinaisons diverses de battements, l'approche des trains, le sens de leur marche, et donnent au besoin tels autres avertissements utiles pour la régularité du service.

Les agents de la ligne, ainsi dûment avertis, indiquent

aux trains, au moyen de sémaphores placés auprès des sonneries, si la voie est libre ou non. Ces appareils donnent une grande sécurité pour la circulation sur une seule voie.

On cherche aussi à appliquer ces sonneries pour améliorer le service des passages à niveau, en réduisant ainsi le temps pendant lequel on est obligé de tenir les barrières fermées.

Six carillons de même genre manœuvrés par les agents de la voie sont établis sur divers points entre Paris et Saint-Denis, dans le but de prévenir immédiatement de tout encombrement qui viendrait à se produire sur l'une des voies principales.

On a achevé d'établir en 1868 des postes télégraphiques installés de 4 en 4 kilomètres environ dans les maisons de gardes, et au moyen desquels les trains en détresse peuvent correspondre avec les gares voisines. Des flèches tracées sur les poteaux télégraphiques indiquent la direction à suivre pour atteindre le poste le plus voisin, qui ne se trouve jamais à plus de 2 kilomètres. Il y a sur le réseau du Nord 219 postes de cette nature.

La correspondance télégraphique ordinaire se fait au moyen de 127 postes permanents et 69 facultatifs.

Le personnel télégraphique comprend, outre les agents de la ligne chargés des postes, deux inspecteurs et douze surveillants.

Réseau de l'Est. — La compagnie des chemins de fer de l'Est a adopté les signaux en usage sur presque tous les chemins de fer français.

De plus, les aiguilles prises en pointe sont pourvues de petits disques, mis en mouvement par leur levier même et qui indiquent leur position.

Tous ces signaux, sauf ceux des aigoilles, sont mis en action par la main de l'homme parce que l'on n'a pas voulu faire dépendre la sécurité des voyageurs du jeu incertain d'un appareil automatique. Il existe bien encore quelques

disques fermés par le passage des trains; mais c'est toujours la main de l'homme qui doit les ouvrir.

Sur les observations du contrôle, les règles relatives aux signaux ont été refondues et l'on a adopté le système en vigueur sur le réseau de Lyon. Les propositions à cet égard ont été approuvées par décision ministérielle du 13 juillet. L'innovation la plus saillante est relative à l'installation des poteaux dits de protection que les trains doivent avoir complétement dépassés pour que l'on puisse les considérer comme couverts par le disque-signal de la station tourné à l'arrêt. Dans ces conditions, qui offrent de précieuses garanties pour prévenir les collisions aux abords des gares, l'obligation absolue de l'arrêt n'existe plus qu'à la rencontre des disques spéciaux établis pour couvrir quelques points dangereux en deçà des disques avancés qui frappent d'abord la vue du mécanicien.

Par suite de l'établissement de poteaux dits de protection, il a fallu éloigner les disques avancés des gares à une distance de 1 200 à 1 500 mètres, de sorte que souvent on ne les aperçoit plus du quai des voyageurs. Pour remédier à cet inconvénient, la compagnie fait installer partout des sonneries électriques dites trembleuses qui ne fonctionnent que quand le disque correspondant est tourné à l'arrêt.

Une instruction générale du 28 février 1868 a prescrit de mélanger, pendant les grands froids, l'huile de colza avec 3 pour 100 d'huile de pétrole pour prévenir la congélation dans les lampes d'éclairage des signaux. Le service s'en est très-bien trouvé.

La section de Paris à Noisy-le-Sec, qui forme le tronc commun des lignes de Paris à Strasbourg et de Paris à Mulhouse, est sans contredit l'une des plus fréquentées du réseau français. On a dû, pour éviter l'encombrement des trains, y réduire à deux minutes l'intervalle compris entre ceux-ci; mais grâce à la bonne installation du service des signaux, aux nombreux postes de surveillance et au fonc-

tionnement régulier de l'appareil Tyer entre la Villette et Noisy, cette section est l'une de celles où l'on a le moins d'accidents à constater.

Des consignes locales déterminent les mesures spéciales de précaution à prendre pour assurer la sécurité de la circulation des trains dans les gares et aux bifurcations qui présentent des difficultés particulières. Ces consignes sont très-nombreuses. Chacune d'elles est accompagnée d'un plan indiquant la position des disques spéciaux et celle des aiguilles : le texte fixe le nombre des agents appelés à les manœuvrer et précise leurs devoirs.

Les dispositions générales des signaux que l'expérience a consacrées sont l'objet de règlements approuvés par l'administration et qui ont par cela même une sanction pénale.

Les consignes locales ou les dispositions nouvelles n'ont pas jusqu'à présent été soumises à l'approbation ministérielle, ce qui a permis à la compagnie de les modifier spontanément suivant les besoins. La compagnie communique toujours ces dispositions au contrôle, qui lui adresse ses observations s'il y a lieu.

Les infractions à ces ordres ne font encourir que des punitions disciplinaires, à moins qu'elles n'aient occasionné quelque accident qui rende l'article 19 de la loi du 15 juillet 1845 applicable. Cette sanction indirecte, jointe à la surveillance du chef de service et à celle du contrôle, suffit pour en assurer l'exécution.

Réseau de la Méditerranée. — Un bon système de signaux est, sur les lignes à grand trafic et à grande vitesse, une des conditions les plus essentielles de la sécurité. Cette organisation a, sur le réseau de la Méditerranée, la meilleure des sanctions : l'extrême rareté des accidents que les signaux ont pour but de prévenir.

Les sémaphores ont un rôle important dans ce système. Leur fonction spéciale est d'assurer l'espacement des trains; leur position fixe connue des mécaniciens, leur vi-

sibilité, la propriété qu'ils possèdent de donner trois avertissements : voie libre, ralentissement, arrêt, les rendent très-propres à cet usage. Ils se superposent d'ailleurs aux disques à distance en usage sur toutes les lignes françaises et dont la fonction est de couvrir les gares pendant les stationnements des trains ou pendant les manœuvres qui engagent les voies principales.

Un autre système emprunté à l'Angleterre, où il est fort répandu, l'appareil Tyer, est appliqué sur les portions du réseau les plus chargées de trains. Introduit il y a quelques années sur le tronc commun de Paris à Moret, il vient de l'être entre Mâcon et Valence.

Le principe consiste à échelonner sur la voie des postes de signaux correspondant électriquement deux à deux et à ne jamais laisser deux trains de même sens s'engager à la fois entre deux postes. Le premier poste d'un intervalle ne donne la voie libre à un train que quand il a la certitude matérielle que le train précédent a dépassé le second poste. Cette certitude est absolue, l'aiguille indicative de l'appareil d'un poste ne pouvant être ramenée sur les mots *Voie libre* que par le stationnaire du poste suivant. Les indications de l'appareil sont reproduites par les grands signaux qui s'adressent aux mécaniciens.

La compagnie a pris récemment une utile mesure en affectant les stationnaires des postes Tyer exclusivement à ce service. Aucun autre travail, aucune autre préoccupation ne peuvent donc distraire ces agents de leurs fonctions.

Diverses gares, compliquées elles-mêmes et formant, comme celles de Nîmes et de Courbessac, par exemple, un système unique, ont dû être l'objet de dispositions particulières. Plusieurs règlements fondés sur l'emploi des disques et des sémaphores ordinaires, ou de disques spéciaux dont la signification est accusée par leur couleur (jaune ou bleue), fixent d'une manière complète les règles à suivre pour la

circulation des trains et des machines en ces points singuliers. Étudiés avec beaucoup de soin, bien appropriés aux conditions locales, ne laissant rien à l'imprévu, ces règlements préviennent de la part des agents toute hésitation et toute erreur. Ils rendent des services très-réels. Cette réglementation spéciale a été étendue en 1868 à la gare d'Arles et à ses abords et aux gares citées tout à l'heure de Nîmes et de Courbessac.

Réseau d'Orléans. — De nouveaux signaux manœuvrés à la main, et destinés à maintenir entre les trains l'espacement réglementaire de 10 minutes, ont été installés dans plusieurs gares et à divers postes d'aiguilleurs sur certaines sections et notamment sur les lignes de Bretagne.

On a placé, à 500 mètres en avant des mâts de signaux, des poteaux munis le jour de pavillons blancs et la nuit de lanternes qui sont destinées à annoncer, en temps de brouillard, aux mécaniciens l'approche des disques spéciaux.

Réseau du Midi. — Les disques ont reçu presque tous l'application du système Robert, qui consiste essentiellement en un appareil de compensation établi sur le fil de manœuvre du disque et destiné à régler la tension de ce fil. Avec ces dispositions, les disques fonctionnent très-bien sur le réseau du Midi, où les variations de température ont une grande étendue.

Sur les lignes à voie unique, la compagnie a établi un système ingénieux de conjugaison des disques qui ne permet jamais l'entrée dans une station que d'un seul côté.

Partout où les disques ne sont pas visibles des stations, on a installé des sonneries électriques qui annoncent si le disque est fermé.

Observations.—Trois indications données par les rapports méritent plus particulièrement l'attention.

1° Celle relative à l'établissement de sonneries annonçant les trains. Ces sonneries ont été placées sur une ligne à voie unique. Elles pourront, appliquées partiellement, ser-

vir, sur les lignes à grand trafic, à régler la manœuvre des barrières des passages à niveau très-fréquentés.

2° L'emploi de l'appareil Tyer, déjà fait sur une assez grande étendue au réseau de la Méditerranée, sert sur la ligne de l'Est entre Paris et Noisy-le-Sec et permet de faire circuler, en toute sûreté, des trains se suivant à deux minutes d'intervalle.

Cette réduction possible des intervalles, qui permet une multiplication plus grande des trains, montre le parti qu'on peut tirer des signaux pour augmenter la puissance d'exploitation d'une ligne.

3° L'application avec succès à la ligne du Midi, soumise à de très-grands écarts de température, du régulateur Robert pour la tension des fils de manœuvre des disques. Cet appareil a été appliqué d'abord à la ligne du Nord, où M. Robert était chef de section de l'entretien et de la surveillance, et il a rendu partout de bons services.

IX. — RÈGLEMENTS DE SERVICE.

En général, les règlements de service sont déjà anciens et bien connus. Cependant quelques dispositions sont récentes, et celles-là sont mentionnées aux rapports.

Réseau de l'Est. — La réglementation ancienne des passages à niveau manquait d'uniformité et a été remplacée par un règlement général du 31 août 1867, basé sur le degré d'importance de la circulation ou de la fréquentation des chemins de fer et des routes de terre traversées.

Les passages sont partagés en trois catégories. Ceux des routes les plus fréquentées forment la première. Viennent ensuite la deuxième et la troisième catégorie dans l'ordre décroissant de la fréquentation.

Dans les lignes à grande circulation, les barrières ne sont habituellement ouvertes que pour la première catégorie. On les ferme à l'approche des trains. Les deux autres catégories

sont au contraire habituellement fermées, et on ne les ouvre qu'en cas de besoin, si aucun train n'est attendu.

Sur les lignes à moyenne et à faible circulation surtout, on laisse ouvertes les barrières de deuxième et de troisième catégorie autant que les besoins de la circulation l'exigent et que la marche des trains le permet.

Sur toutes les lignes, les portillons pour piétons, soit isolés, soit accolés à des barrières de passage à niveau ordinaire, peuvent toujours être manœuvrés par les passants sous leur responsabilité.

Le règlement admet d'ailleurs la faculté de manœuvrer à distance certaines barrières peu fréquentées, ce qui permet de multiplier les passages à niveau dans l'intérêt de l'agriculture.

Depuis l'approbation du nouveau règlement, le nombre des réclamations est devenu très-restreint.

Réseau de la Méditerranée.—Il est souvent impossible d'éviter les passages à niveau et, à la traversée par les voies ferrées à grand trafic des routes importantes, il est parfois difficile de concilier les exigences de la double circulation. La route doit en général céder le pas au chemin de fer, mais on peut admettre que les mouvements de gare et les stationnements prolongés des trains de marchandises apportent trop d'entraves à la circulation transversale. Un arrêté du préfet fixe, lorsque cela est nécessaire, la durée maximum de la fermeture continue des barrières. Ce délai expiré, le chef de gare doit faire couper le train au droit du passage à niveau et rétablir ainsi la circulation sur la route. Cette mesure rigoureusement exécutée concilie tout.

Un train franchissant un passage à niveau doit toujours trouver les barrières fermées. Mais elles peuvent être ou tenues fermées constamment et ouvertes à la demande de la circulation transversale, ou tenues constamment ouvertes et fermées avant le passage des trains.

Dans l'origine, toutes les barrières étaient maintenues fermées et on ne les ouvrait qu'à la demande des passants, lorsqu'aucun train n'était annoncé en vue ou attendu. Mais l'expérience a prouvé que cette règle était trop absolue. Il faut en pareille matière un régime élastique, qui tienne compte de l'extrême diversité des conditions locales. Si les trains sont rares et la route très-fréquentée, il est clair que l'ouverture habituelle est dans la nature des choses.

Le service des barrières du réseau de la Méditerranée est régi par un règlement approuvé le 31 décembre 1866. Ce règlement n'a pas fait une part aussi large que d'autres à l'ouverture permanente des barrières. Il n'admet cette situation que pendant le jour seulement et pour les passages de la première catégorie sur toutes les lignes et pour ceux de la deuxième sur les lignes à moyenne ou à faible circulation des trains. Ce règlement part de ce principe que chaque passage est pourvu d'une maison de garde. Il prévoit, du reste, l'application des barrières manœuvrées à distance.

Conçu principalement au point de vue des lignes à grand trafic, et à trains de grande vitesse, ce règlement aurait pu peut-être tenir compte un peu plus largement des conditions moins impérieuses que présentent les lignes secondaires. Mais en somme, tel qu'il est, il donne à la sécurité toutes les garanties désirables, et la rareté des plaintes prouve qu'il n'apporte aucun trouble sérieux dans la circulation sur les voies transversales.

Le rapport signale les dispositions d'un règlement approuvé le 7 décembre 1868 sur les moyens à employer pour prévenir les accidents en cas d'interruption de la voie.

Le chef d'une brigade de cantonniers ne doit couper la voie qu'après avoir fait couvrir à la distance réglementaire le point dangereux ou qui va devenir tel.

Si le signal fait à cette distance est visible pour le spectateur placé au point à attaquer par l'enlèvement d'un rail

par exemple, nulle difficulté. Mais s'il n'en est pas ainsi, on ne peut avoir qu'une probabilité d'être couvert, par l'appréciation du temps écoulé depuis le départ de l'agent envoyé pour faire le signal. Pour plus de garantie, le nouveau règlement détache deux hommes, l'un porteur du signal et l'autre qui doit revenir vers la brigade après s'être assuré que le signal a été fait à la distance voulue.

Cette disposition, dit M. Couche, ne soulève qu'une critique, celle du temps perdu par l'équique à attendre le retour, alors qu'il s'agit le plus souvent d'un travail urgent et que les minutes ont une valeur réelle; mais cet inconvénient n'a pas paru assez grave pour renoncer au surcroît de garantie que donne l'homme de retour.

Réseau de l'Ouest. — Le service et la classification des passages à niveau ont été réglés par arrêté ministériel du 8 novembre 1868.

Le rapport n'analyse pas ce règlement et n'insiste que sur un point : c'est le principe de la libre traversée du chemin de fer par les piétons. Le danger qui en résulte n'est pas plus grand que celui de la traversée d'une rue fréquentée par de nombreuses voitures. Malheureusement, les accidents constatés dans ces rues, comme sur les traversées des chemins de fer. montrent qu'il ne faut guère compter sur la prudence du public.

Observations. — Presque tous les rapports s'occupent des règlements du service des barrières, approuvés récemment par l'administration. Leurs dispositions ne paraissent pas différer sensiblement d'un réseau à l'autre, quoiqu'elles soient de dates différentes. En tout cas, les règlements cités ont donné ce double résultat essentiel qu'il n'y a eu ni *accident* ni *plainte* de quelque importance.

Les plaintes naissent surtout de l'obstacle qu'apporte à la circulation des routes le stationnement des trains sur les passages à niveau contigus aux gares. Il faut, partout où il s'agit d'une route importante, que le stationnement soit

bien réglé par arrêté des préfets et qu'on veille rigoureusement à ce que le délai pendant lequel le passage peut être intercepté ne soit jamais dépassé au détriment de la circulation sur la route.

L'emploi d'un homme de retour pour donner la certitude à une équipe qui doit démonter la voie que le signal a été fait à distance voulue, dans le cas où ce signal ne peut être aperçu par l'équipe, donne évidemment toute sûreté, mais pas sans inconvénients. Ces inconvénients seront réduits au minimum en veillant à ce que l'homme qui accompagne ne s'éloigne de l'équipe que dans la mesure indispensable qu'impose le tracé de la ligne.

X. — Personnel de l'entretien et de la surveillance.

Réseau du Nord. — Le réseau du Nord en exploitation est aujourd'hui de 1477 kilomètres, dont 137 à une voie, en comprenant dans ces chiffres la totalité de la ligne d'Amiens à Rouen, qui n'appartient à la compagnie du Nord que pour deux tiers.

Indépendamment des ingénieurs, conducteurs et piqueurs qui dirigent et surveillent le travail, le service d'entretien comprend un personnel de 1 885 chefs cantonniers et cantonniers permanents. Ils sont divisés en brigades de quatre à six hommes, chargées chacune d'une longueur de 4 à 5 kilomètres. On ajoute à ce personnel un nombre d'auxiliaires réglé d'après les besoins du moment. Les cantonniers font tout le service d'entretien de la voie et de la plate-forme, des fossés et clôtures. Ils concourent aussi aux travaux de réfection qui s'exécutent ainsi dans les meilleures conditions de sûreté.

Il faut ajouter à ce personnel 31 surveillants de nuit 83 aiguilleurs de bifurcation et 782 gardes-barrières, don 89 hommes et 693 femmes.

La durée du travail effectif des cantonniers est de huit

dix ou douze heures par jour, suivant la saison ; chaque homme a droit à un jour de congé par mois.

Les aiguilleurs des bifurcations font huit heures de service par jour. Ils alternent pour les heures de service tous les huit jours. A chaque changement, l'un d'eux se repose pendant vingt-quatre heures et les deux autres font chacun douze heures de travail.

Les aiguilles des gares sont manœuvrées par 5 à 4 aiguilleurs, dont le service journalier est de douze heures. Ces agents alternent pour le service de nuit de semaine en semaine, et des auxiliaires interviennent aux changements de service pour maintenir la durée du service par jour à douze heures au plus.

Réseau de l'Est. — Le réseau de l'Est comprend, en France, 2 721 kilomètres, dont 1 253 à une voie.

Il est partagé en sept divisions d'ingénieurs principaux. Chaque division forme six ou sept sections et chaque section trois ou quatre subdivisions de piqueurs qui ont chacun de seize à vingt équipes de cantonniers.

Chaque équipe est composée d'un chef et de quatre ou cinq poseurs, dont un quart environ assermentés. Le personnel des équipes s'élève à 5 317 ouvriers. Elles font le service de surveillance, outre l'entretien de la voie, des fossés et des clôtures. Ainsi, le chef d'équipe ne se borne pas à diriger les travaux ; il fait ou fait faire par un de ses hommes, les tournées nécessaires pour vérifier l'état de la voie et donner la sécurité aux trains. Ces tournées, confiées à des ouvriers exercés, donnent des résultats plus utiles que celles de simples gardes-lignes ; aussi n'a-t-on conservé finalement que les postes de gardes nécessaires pour surveiller certains points qui exigent une attention en quelque sorte continue, comme les tunnels en ligne droite de plus de 1 000 mètres de longueur, les tunnels courbes, etc.

Un ou deux chefs poseurs sont attachés à chaque division et sont chargés spécialement de diriger les travaux de ré-

fection, des remaniements de voies ou des appareils de gares.

Les barrières sont gardées en général par les femmes des cantonniers. Les passages très-fréquentés sont confiés à des gardes spéciaux toujours présents à leur poste et dispensés de tournées. Dans un canton, il y a 1 277 femmes gardes-barrières et 416 hommes gardes sédentaires pour les barrières, les tunnels. etc. 83 barrières voisines des gares sont gardées par des agents de l'exploitation.

Les aiguilleurs des bifurcations éloignées des gares sont au nombre de 48. Il y en a deux par bifurcation, faisant douze heures de service par jour; chacun d'eux alternativement fait pendant une semaine le service de nuit. Tous les huit jours un aiguilleur supplémentaire vient relever celui qui passe du service de nuit au service de jour, de manière qu'à chaque changement de service, l'aiguilleur titulaire qui faisait le service de nuit a vingt-quatre heures de repos.

Les aiguilles des gares ou des bifurcations voisines sont faites par les agents de l'exploitation.

Réseau de la Méditerranée. — L'étendue du réseau de Paris à Lyon et à la Méditerranée est de 4 051 kilomètres, dont 1 910 à une voie.

A l'entretien de la voie est affecté un personnel de poseurs, divisés en équipes, qui se déplacent et auxquelles sont adjoints au besoin des ouvriers auxiliaires. Ces équipes, quand les travaux par elles exécutés peuvent compromettre la marche des trains, sont responsables des mesures à prendre pour prévenir tout accident.

La surveillance de la voie est confiée de jour à des gardes-lignes; les gardes-barrières hommes y concourent dans une certaine mesure. La plupart des barrières des passages à niveau sont manœuvrées par des femmes.

La suppression des gardes de nuit a été approuvée en principe par l'administration et sera sous peu appliquée à tout le réseau, sauf dans les points dangereux.

Cette mesure est ainsi justifiée :

« Une longue expérience prouve que, en ce qui concerne « l'état de la voie proprement dite, la surveillance des « gardes de nuit est presque toujours illusoire, et que cette « organisation n'aboutit guère qu'à de fréquents accidents « dont ces agents sont victimes. Distraits ou surpris par « le sommeil, ils sont atteints par les trains. — Un garde « de nuit ne s'aperçoit presque jamais d'un dérangement « peu saillant, tel qu'une rupture de rail. »

Cette suppression laisse d'ailleurs subsister le personnel nécessaire pour assurer pendant la nuit, comme pendant le jour, le résultat capital, c'est-à-dire l'espacement des trains. (Voir *Signaux*.)

Une circulaire ministérielle du 3 mai 1861 a invité les compagnies à régler le service des aiguilleurs de telle sorte que la durée du service continu de ces agents ne dépassât pas douze heures, même lors de la transition du service de jour au service de nuit et *vice versa*. La compagnie de la Méditerranée a déféré à cette invitation en ce qui concerne les aiguilleurs proprement dits, c'est-à-dire les agents spécialement chargés de la manœuvre des aiguilles de bifurcation et des voies principales dans les grandes gares. Mais elle a demandé en même temps que la règle établie par la circulaire précitée ne fût pas appliquée d'une manière absolue aux agents divers : facteurs, hommes d'équipe, gardes, etc., qui peuvent avoir, accidentellement, à manœuvrer quelques aiguilles sur les points où la rareté de ces manœuvres ne saurait motiver la présence d'aiguilleurs spéciaux. Cette distinction a été acceptée par décision du 20 juin 1868.

Le rapport justifie ainsi l'organisation de tout le personnel :

« Le public est souvent tenté d'imputer aux compagnies « une tendance excessive à économiser le personnel et « d'attribuer à cette cause une part considérable dans les « accidents.

« Ce reproche n'est pas fondé. On serait moins disposé « à l'articuler si l'on se rendait un compte plus exact de l'or- « ganisation des grandes compagnies de chemin de fer. « Elles se rapprochent beaucoup plus d'une administration « publique que d'une entreprise privée. Les administra- « teurs et les directeurs ont *personnellement* un grand inté- « rêt à éviter les accidents, tandis qu'ils n'ont qu'un inté- « rêt personnel très-faible, très-indirect et tout au plus « comme actionnaires, pour une part insignifiante de l'é- « norme capital engagé, à réduire les dépenses. Ceux « mêmes (et leur nombre est extrêmement petit) qui sont « propriétaires du chemin pour une part importante, savent « parfaitement, sans parler de leur responsabilité, que leur « propriété serait atteinte plus gravement par des accidents « dus à une insuffisance de personnel que par une légère « surélévation des dépenses qui couvre l'une et peut éviter « les autres. On peut affirmer que si l'État, qui a exploité « autrefois une partie des lignes de Lyon et de l'Ouest, ex- « ploitait aujourd'hui les grands réseaux, il suivrait exac- « tement les errements des compagnies et n'augmenterait « pas son personnel. »

Réseau d'Orléans.— Le réseau d'Orléans a une longueur de 3 697 kilomètres dont 2 476 à simple voie. Le nombre moyen des agents attachés en 1868 à l'entretien et à la surveillance de la voie, non compris les ouvriers temporaires, s'est élevé à six mille neuf cent six, soit deux hommes à peu près par kilomètre. Dans cette catégorie de personnel sont rangés, sous les ordres des ingénieurs et des inspecteurs de la voie, les chefs de section et les chefs de district, les gardes-lignes et les gardes-barrières, les poseurs et enfin les aiguilleurs dont les postes sont établis en dehors des gares. Les autres aiguilleurs ayant leur service dans les gares et leurs dépendances, tout en pouvant être chargés d'une section de surveillance, sont rattachés au service du mouvement.

Réseau de l'Ouest. — La longueur totale exploitée au 31 décembre 1868 est de 2218 kilomètres dont 1065 à simple voie.

Le personnel attaché au service d'entretien et de la surveillance est de six mille huit cent quatre-vingt-seize agents ou ouvriers.

Réseau du Midi. — Le réseau exploité en 1868 était de 1727 kilomètres au 31 décembre dont 1166 à simple voie.

Sur les lignes à double voie, le personnel des cantonniers commissionnés varie entre 1 et 1.10 par kilomètre. Sur les lignes à simple voie et sur les embranchements, il reste compris entre 0.72 et 0.88 (soit en moyenne 0.80).

Ces rapports sont calculés d'après la longueur réelle des voies principales de circulation, sans tenir compte des voies de garage et de service qui augmentent notablement la circonscription de chaque cantonnier. Le personnel est chargé aussi de l'entretien du matériel fixe, des clôtures sèches, des haies vives, du curage des fossés, de la viabilité des cours et chemins d'accès; il est fixe et occupé toute l'année, mais il ne suffirait pas à sa tâche si l'on n'adjoignait, en temps opportun, à ces équipes des ouvriers auxiliaires.

Au-dessus de ces équipes, la compagnie a placé des chefs de section, des conducteurs et des employés secondaires en nombre convenable.

Le service des aiguilles emploie quatre cent soixante-dix-sept agents dont trois chefs aiguilleurs, cent quatre-vingts aiguilleurs proprement dits et deux cent quatre-vingt-quatorze hommes d'équipe aiguilleurs. La durée du service journalier est de douze heures par jour pour les aiguilleurs et de quinze heures pour les hommes d'équipe aiguilleurs.

Observations. — Les règles du service ne diffèrent d'un réseau à l'autre que par des détails.

Pour l'entretien, le personnel fixe est réduit au minimum. On lui adjoint, à mesure des besoins, les auxiliaires nécessaires.

La surveillance ambulante est faite par des gardes ou des cantonniers. Ce service a été supprimé pendant la nuit sur le réseau de la Méditerranée; il ne semble pas qu'il l'ait encore été sur les autres réseaux. Mais sur toutes les lignes, la surveillance de nuit, quelle que soit son organisation, est suffisante pour assurer l'espacement des trains.

Les barrières sont en général desservies par des femmes (les femmes des ouvriers de la ligne).

Les aiguilleurs appartiennent soit à la ligne, soit aux stations. Pour les véritables aiguilleurs, la durée du travail journalier est réduite à huit heures sur le Nord, et ailleurs elle ne dépasse pas la limite de douze heures fixée par l'administration.

Les chiffres par lesquels est définie l'importance du personnel des divers réseaux présentent, eu égard à l'étendue des lignes, des différences qui semblent indiquer que ces chiffres n'ont pas été tous calculés sur les mêmes bases. Il ne faut donc s'arrêter qu'au résultat, et tous les rapports s'accordent à reconnaître qu'il est satisfaisant.

Les administrations des compagnies ont à se préoccuper de deux choses surtout : la sûreté de l'exploitation et les intérêts des actionnaires, et comme les accidents coûtent plus que ne rapporteraient des économies de personnel mal entendues, la double préoccupation des compagnies a pour résultat une organisation répondant à tous les besoins.

XI. — Retards et accidents au point de vue du service du personnel de la ligne.

Les extraits de rapports, en ce qui concerne les retards et accidents, ne sont présentés ici que pour y chercher dans la mesure du possible des éléments d'appréciation du service du personnel de la ligne.

Réseau du Nord. — Les retards qui ont affecté le service des voyageurs ont été de deux mille quatre-vingt-treize

pour cent trente-sept mille quatre-vingt-cinq trains, soit 1.5 p. 100 du nombre des trains; trois cent trente et un retards ont été supérieurs à une heure.

Les retards dus à des négligences d'agents sont peu nombreux et ont donné lieu à des punitions disciplinaires ou à des poursuites judiciaires. On fait tout ce qu'il est possible de faire pour en diminuer le nombre.

Il y a eu, en 1868, 77 tués et 582 blessés. Les accidents imputables à des négligences des agents de la compagnie sont de 12 pour 100 en ce qui concerne les accidents d'agents et de 27 pour 100 en ce qui concerne les personnes étrangères au chemin de fer. Dans aucun cas, du reste, la responsabilité n'a paru devoir remonter aux chefs de service ou à la compagnie elle-même. Il s'agit toujours de précautions oubliées, de prescriptions réglementaires non exécutées. C'est aussi à des causes semblables que doivent être attribuées les blessures des agents qui ont été victimes de leur propre imprudence.

Le service du contrôle a porté à la connaissance des procureurs impériaux tous les accidents survenus. Ceux qui ont donné lieu à des procès-verbaux ont été l'objet d'avis motivés. Le contrôle a dû, en outre, dans quelques cas, adresser à la compagnie des observations auxquelles il a toujours été donné une suite convenable.

Réseau de l'Est. — Les retards des trains de voyageurs ont été de 1.85 pour 100 (2.96 en 1867); le rapport n'indique pas précisément la part des négligences; mais il signale que 336 réclamations ont été inscrites au registre, que 65 seulement ont été reconnues fondées et qu'aucune ne se rapporte au service de la voie.

Il y a eu 283 contraventions poursuivies, dont 183 ont donné lieu à des condamnations. 26 sont imputables à des agents de la compagnie et ont donné lieu à 19 condamnations. Dans les 26, 7 condamnations se rapportent au règlement sur les signaux.

Il y a eu, en 1868, 471 accidents de toute nature, dont 108 dus à des négligences d'agents.

Les accidents qui ont atteint les personnes donnent pour résultat 58 tués dont 14 voyageurs, et 170 blessés dont 44 voyageurs.

La mort de 11 voyageurs et les blessures de 32 sont dues à leur propre imprudence.

Les agents de l'exploitation sont souvent exposés au danger, et l'on comprend que le moindre oubli, la moindre inattention puissent devenir mortels : ainsi, sur les 24 agents tués en 1868, on en compte 14 qui ont été écrasés par des trains en marche, les uns en se précipitant à moitié endormis pour faire les signaux réglementaires, et d'autres en ne portant leur attention que sur un seul train au moment d'un croisement. Les 10 autres ont été tués dans des manœuvres de gares, ou en travaillant à la manutention des colis.

Réseau de la Méditerranée. — Le réseau de la Méditerranée se trouve dans des conditions difficiles de régularité à cause de la multiplicité de ses lignes, de ses nombreuses soudures avec les chemins de fer français et étrangers, de la longueur du parcours des trains. Un train ne pouvant jamais partir avant l'heure réglementaire, l'écart dans la marche par rapport aux itinéraires ne peut jamais être que dans le sens du retard. Un retard de 30 à 40 minutes entre Paris et Nice est moins considérable qu'un retard de 10 minutes de Paris au Havre.

Pour résumer par un seul chiffre le degré de régularité du service pendant l'année 1868, le rapport constate que la gare de Paris a reçu 9481 trains de voyageurs réguliers. Le nombre total des retards a été de 586 (soit 6 pour 100 environ) et la somme des retards a été de 533 heures 30 minutes, soit en moyenne de 54 minutes par train retardé et de 3 minutes 5 secondes par train sur l'ensemble.

Pour les trains express dont les parcours sont les plus

longs et la vitesse la plus grande, sur 1 786 trains entrés à Paris, il y en a eu 16 pour 100 en retard de 59 minutes chacun, soit un retard de 9 minutes et demie sur l'ensemble.

Ces résultats ne sont obtenus qu'au prix d'efforts persévérants souvent méconnus par le public.

Le rapport présente une analyse très-intéressante des causes diverses de ces retards et indique des mesures dont on a commencé l'application pour en réduire le nombre et l'importance. En général, les négligences des agents y entrent pour très-peu. On signale seulement que dans les gares, sauf celles où les voyageurs prennent leur repas, le personnel pourrait expédier un peu plus rapidement les trains en retard.

A la suite de l'enquête de 1862, les compagnies furent conduites à forcer la vitesse de marche et à réduire la durée des stationnements et des battements (*). Mais il fut bientôt reconnu qu'il fallait revenir en arrière et modérer la vitesse pour assurer la régularité.

« Rien n'indispose plus le public que ces fluctuations. Il « n'admet guère l'expérimentation en pareille matière, et « ce qui lui a été une fois accordé est pour lui un droit « acquis. La possibilité n'est point chose absolue ; ce qui « n'est pas possible aujourd'hui peut l'être demain, dans « un an... Il importe donc d'exiger des compagnies ce qui « est actuellement et certainement praticable, mais il faut « se garder d'aller plus loin. »

Le nombre des voyageurs atteints par des accidents en 1868 est de 11, dont 2 ont péri, mais tous les deux par suite de leur imprudence.

Si le personnel actif a payé encore un triste tribut aux

(*) On appelle « battement » l'intervalle de temps qu'on ménage entre l'heure réglementaire d'arrivée d'un train dans une gare et l'heure de départ d'un autre train qui fait suite au premier sur une autre ligne. Le battement tend à assurer la correspondance.

(*Note du secrétaire de la commission des* Annales.)

dangers inhérents à sa profession et trop souvent aggravés par son imprudence, les voyageurs ont joui d'une immunité presque complète. La sécurité des voyageurs est le but vers lequel il faut tendre avant tout, et il est satisfaisant de constater que ce but a été presque complétement atteint pendant l'année 1868.

Le rapport signale quelques erreurs d'aiguilleurs. Ces oublis n'ont eu « aucune conséquence fâcheuse, et l'on ne « saurait attribuer à un excès de fatigue quelques fautes « inséparables de la nature humaine. La répression, soit « disciplinaire, soit judiciaire de ces fautes fait toujours à « ces considérations une part indulgente. La crainte d'une « répression modérée est salutaire, elle tient en éveil. Mais « la crainte d'un châtiment trop sévère entretient l'esprit « dans un état de tension et de préoccupation excessives et « constitue par cela même un danger. »

Réseau d'Orléans. — Le rapport sur le réseau d'Orléans ne constate, pour les trains de voyageurs, que les retards d'une demi-heure ou plus. Ils ont été de 0.23 p. 100 seulement pour les trains express et de 0.66 p. 100 pour les diverses natures de trains. En 1867, le chiffre pour l'ensemble avait été de 0.77.

Il n'y a pas eu, en 1868, de voyageur tué. 8 ont été blessés par suite d'accidents de trains, dont 2 seulement sont le résultat de fautes commises. Il y a eu, en outre, 15 agents et 8 personnes étrangères au chemin de fer blessés, mais ces accidents sont dus presque tous à des imprudences des victimes.

A considérer les accidents d'exploitation sans atteinte pour les personnes, le rapport signale en outre 12 avaries de la voie, 10 voitures ou bestiaux rencontrés par les trains et 60 fausses manœuvres de gares (aiguillage et signaux mal compris, etc.).

Réseau de l'Ouest. — Les retards de plus de 15 minutes pour les trains de voyageurs ont été d'un peu moins de 1 p. 100 pour les express, de 0.50 p. 100 environ pour les

trains omnibus et de 0.80 p. 100 pour les trains mixtes. Le service a donc été fait, sous ce rapport, dans des conditions convenables; le contrôle a demandé cependant des améliorations sur les embranchements.

Il y a eu, en 1868, 1111 accidents, en comptant non-seulement ceux suivis de mort, blessures ou contusions (356), mais encore tous les accidents de trains, avaries de matériel et autres, qui n'ont pas eu de conséquences fâcheuses pour les personnes (755).

Les accidents qui ont fait des victimes ont coûté la vie à 45 personnes et en ont blessé 323, savoir : 5 voyageurs tués et 61 blessés, 24 agents de la compagnie tués et 258 blessés, 16 personnes étrangères à la compagnie tuées et 3 blessées.

Presque tous les accidents de personnes sont dus à leur propre imprudence. Ce qui le prouve, c'est que les 218 procès-verbaux transmis aux procureurs impériaux n'ont donné lieu qu'à 57 condamnations.

9 voyageurs ont été blessés par des collisions de trains et 3 par des pierres lancées.

Parmi les 755 accidents qui n'ont pas atteint les personnes, on compte 141 déraillements dans des manœuvres de gares et 10 en marche; 86 collisions en gare et 3 en marche; 59 incendies, dont 48 d'herbes des talus; 21 animaux tués sur la voie.

Les accidents que nous venons d'énumérer supposent, une partie du moins, des fautes de service. Mais aucun accident de train en pleine marche n'a pu être imputé au mauvais état de la voie.

A l'égard des animaux tués, le rapport fait remarquer que quelque soin qu'on apporte à l'entretien des clôtures, on n'arrivera pas à les mettre en état de résister aux atteintes des bestiaux laissés en liberté dans les prairies qui bordent les chemins de fer, et comme les propriétaires trouvent onéreuse l'obligation de les garder à vue, les introductions de chevaux et de bestiaux sur la voie sont fréquentes.

« Leur rencontre par les trains n'a pas, très-heureuse-« ment, occasionné d'accidents autres que des avaries de « matériel; mais il n'en est pas moins important, dans « l'intérêt de la sécurité du service, de les prévenir autant « que possible. Des procès-verbaux de contravention sont « donc dressés soit par les commissaires de surveillance « administrative, soit par des agents assermentés de la voie « contre les propriétaires de tous les animaux trouvés dans « l'enceinte du chemin de fer. Mais ces procès-verbaux « restent trop souvent sans effet, la jurisprudence des con-« seils de préfecture n'étant pas encore parfaitement fixée « sur la suite dont ils sont susceptibles. »

M. Duparc a dû proposer à l'administration supérieure de déférer au conseil d'État plusieurs de ces arrêtés (rétablissement de treillage, sans amende, pas de condamnation, sous prétexte de résistance insuffisante de la clôture).

« Il ne faut pas oublier, dit M. Duparc, que les nou-« veaux chemins de fer pourront ne pas être bordés de « clôtures et que dans cette situation on ne saurait les « soustraire à l'invasion des bestiaux qu'en posant en prin-« cipe que le seul fait de la présence d'un cheval ou d'un « bœuf sur la voie de fer constitue une contravention à la « charge de son propriétaire. »

Réseau du Midi. — Les retards des trains à leur arrivée à destination ont été assez considérables du mois de juin au mois d'octobre; ils se sont élevés à 50 p. 100 du nombre des trains en circulation. Ces retards ont eu pour cause principale l'affluence des voyageurs et l'attente des trains des lignes étrangères. Ils ne sont imputables que pour une faible part au personnel et à l'organisation de la compagnie du Midi.

Il y a eu 262 accidents en 1868, dont 75 dus à la négligence des agents de la compagnie. 138 n'ont affecté aucun train.

Ces accidents ont occasionné la mort de 19 personnes et

166 blessures, ainsi réparties : 1 voyageur tué, 72 blessés; 18 agents et autres tués, 94 blessés.

On doit mettre au compte des négligences des agents de la compagnie le voyageur tué et 71 blessés. Les blessures ont été, en général, sans gravité.

Sur les 262 accidents, 5 sont dus à des éboulements, 9 aux neiges, aux brouillards et aux inondations, aucun n'a eu pour cause le mauvais état de la voie.

Les règlements relatifs au personnel de la voie sont en général observés avec une grande ponctualité, et les agents aux divers degrés de la hiérarchie paraissent bien disciplinés.

La compagnie, de son côté, est animée pour eux d'une grande bienveillance. « Elle a créé pour les agents et ou-« vriers de la voie, comme pour ceux des autres services, « plusieurs institutions de la plus haute moralité, qui pré-« sentent le double avantage de développer en eux le sen-« timent de la famille et de les attacher davantage à la « compagnie qui les emploie. »

Observations. — Les rapports ne font pas tous ressortir l'influence des agents des compagnies sur les retards et accidents, ni les plaintes auxquelles leur service a donné lieu de la part du public.

Tout cependant fait supposer qu'il n'y a pas beaucoup de reproches à faire au personnel de la ligne quant aux retards. De fausses manœuvres d'aiguilles, des signaux mal faits ont occasionné quelques accidents, mais aucun ne paraît devoir être imputé au mauvais état de la voie.

Les agents des compagnies ont été, en général, les premières victimes de leurs fautes et de leur imprudence, et les voyageurs n'ont été frappés que dans une mesure heureusement très-faible; le tableau suivant, dans lequel on n'a relevé que les tués, le montre clairement.

RÉSEAUX.	NOMBRE de voyageurs transportés.	Parcours moyen par voyageur.	NOMBRE de tués. Voyageurs.	Agents.	OBSERVATIONS.
Nord.	14 375 723	37	4	50	
Est.	21 189 606	31	14 (*a*)	24	(*a*) La mort de 11 voyageurs est due à leur propre imprudence.
Méditerranée. .	18 422 490	58	2 (*b*)	15	(*b*) Leur mort est due à leur propre imprudence.
Orléans.	10 612 000	56	0	15	
Ouest.	26 877 986	26	5	24	Presque tous ces accidents par imprudence
Midi.	5 817 300	30	1	18	

Les appréciations des rapports ne sont pas toutes ramenées à une commune mesure. Cela est sensible surtout pour les retards des trains. Il faut reconnaître d'ailleurs qu'il n'est pas facile de comparer les résultats, surtout en raison des différences dans la longueur des parcours, qui est un des facteurs les plus influents. En groupant les trains et les retards par catégorie de longueur de parcours et par nature de train, on pourrait sans doute arriver à une appréciation plus exacte. Elle ne le serait cependant pas absolument, parce que, aux jonctions, les trains de long parcours réagissent sur ceux de parcours moindre. Nonobstant, il sera certainement possible de poser des règles utiles, ne serait-ce qu'en fixant exactement le point de départ des retards à compter.

Les réflexions qu'a suggérées à l'un de MM. les inspecteurs généraux du contrôle la rencontre d'animaux par les trains tendent à montrer que les dispenses pour la pose des clôtures ne doivent être données qu'avec mesure, et que l'économie qu'on pourra réaliser sur cet article de la construction ne sera peut-être pas aussi considérable qu'on l'avait supposé en rédigeant la loi du 12 juillet 1865.

XII. — QUESTIONS DE MATÉRIEL ROULANT ET DE MOUVEMENT QUI PEUVENT INFLUER SUR LA CONSTRUCTION.

Réseau du Nord. — *Locomotives.* — La compagnie possédait, à la fin de 1868, 752 locomotives qui se subdivisent de la manière suivante :

285 machines à voyageurs, dont 130 à roues indépendantes et 155 à 4 roues couplées.

402 machines à marchandises, dont 233 à 6 roues couplées, 149 à 8 roues et 20 à roues couplées en deux groupes.

65 machines de gares.

134 machines ont été munies, en 1868, d'un frein spécial, à la main du mécanicien, permettant de profiter pour l'arrêt de leur poids total. Le nombre des machines sur lesquelles ce frein est installé maintenant est de 376, 218 machines à voyageurs et 151 à marchandises.

On a commencé aussi l'application du système à vis pour l'emploi de la contre-vapeur. Jusqu'à présent 144 machines seulement ont été pourvues de cet appareil, savoir : 3 machines à voyageurs et 91 à marchandises.

On n'a pas continué les essais faits avec l'appareil à air comprimé de M. Bergue.

Véhicules. — La proportion des wagons à freins est de 43 p. 100 sur les voitures à voyageurs, 16 p. 100 sur les wagons à marchandises et 19 p. 100 sur l'ensemble.

On a ajouté des ressorts Lapeyrie aux freins des voitures à voyageurs.

Les fourgons lestés qui suivent immédiatement les machines sont tous munis d'un frein à contre-poids et à déclanchement qui peut être mis en action de la plate-forme même de la machine à l'aide d'une corde ; c'est un supplément de 12 à 13 tonnes placé à la disposition du mécanicien et qui, joint aux freins de la machine et du tender, lui assure des moyens très-puissants pour enrayer immédiatement.

Mouvement. — Les conditions de vitesse sont restées comme par le passé comprises dans les limites ci-après :

	VITESSE A L'HEURE	
	en pleine marche.	effective.
	kilomètres.	kilomètres.
1. Trains express	60 à 73	52 à 56
2. Partie directe des trains ordinaires.	50 à 60	35 à 44
3. Trains omnibus	38 à 50	28 à 37
4. Trains de marchandises	18 à 25	»

Très-peu de trains sont omnibus sur tout leur parcours, de sorte que sur le parcours total la vitesse des trains ordinaires participe des vitesses 2 et 3.

Réseau de l'Est. —*Locomotives.* — La compagnie possédait au 31 décembre 1868, 837 machines, se répartissant comme il suit :

392 machines à voyageurs, dont 138 à roues indépendantes et 254 à roues couplées.

414 machines à marchandises, dont 371 à 6 roues couplées, 41 à 8 roues et 2 du système Hürock avec tender, pouvant fonctionner comme moteur, en utilisant la vapeur de la machine.

31 machines de gare.

L'importance toujours croissante du trafic et les rampes considérables que présentent les nouvelles lignes du réseau ont fait ressortir l'insuffisance de force et surtout d'adhérence des machines à roues indépendantes pour les trains un peu lourds. On ne construit donc plus guère que des machines mixtes et des machines à marchandises à 4, 6 et 8 roues couplées.

La compagnie de l'Est est entrée largement dans cette voie; elle a transformé 24 machines à roues libres en machines mixtes. Le seul type de machines à roues libres con-

servé en principe est celui de Crampton, affecté au service des trains express.

L'emploi perfectionné de la contre-vapeur était adapté au 31 décembre 1868 sur le chemin de fer de l'Est à 31 machines destinées à circuler sur les fortes rampes (maximum d'inclinaison 0.016). La compagnie fait en outre poursuivre dans ses ateliers la transformation successive de ses anciennes machines à marchandises.

Véhicules. — Le nombre de véhicules munis de freins est de 30 p. 100 des wagons ou voitures de la grande vitesse et de 10 p. 100 des wagons du service des marchandises.

Le système de freins le plus généralement employé sur le réseau de l'Est est encore celui à vis. Comme ce frein n'agit pas très-rapidement, la compagnie a eu recours au frein Stilman qu'elle a appliqué à six cents voitures ou wagons.

Dans ce frein, les deux sabots conjugués sont serrés contre les roues au moyen d'un coin descendant verticalement entre eux et que l'on manœuvre au moyen d'une vis à plusieurs filets. Cette vis porte un volant assez lourd qu'il suffit de lancer dans un sens ou dans l'autre pour produire rapidement le serrage ou le desserrage. Ce frein fonctionne bien.

Le frein automoteur proposé par M. Guérin avait été appliqué par la compagnie de l'Est à quatre cent véhicules. Mais plusieurs accidents ayant paru démontrer l'insuffisance de ce frein, notamment à la descente des fortes pentes, et des difficultés de manœuvre l'ayant fait interdire sur certains réseaux étrangers, la compagnie a pris, en 1867, le parti de renoncer à son emploi.

Dans la même année, MM. Lefebvre et Domé présentèrent un autre système de frein automoteur qui a paru exempt des inconvénients reprochés à celui de M. Guérin. On l'essaya d'abord dans les ateliers, puis sur des wagons en circulation, enfin la compagnie se décide maintenant, d'après les

bons résultats de ces essais, à construire dix wagons armés du frein nouveau, afin de le mettre au service régulier.

M. Thoyot trouve le système des freins automoteurs très-logique ; son application peut créer une grande puissance d'arrêt. Si on réussissait enfin à l'appliquer couramment, cette solution se combinerait de la manière la plus heureuse avec l'emploi de la contre-vapeur.

Réseau de la Méditerranée.—*Locomotives.* — Au 1er janvier 1868, la compagnie possédait mille deux cent quatre-vingt-onze locomotives ; cent dix qui étaient en construction ont été livrées pour la plus grande partie dans le courant de l'année.

Les deux points essentiels à signaler au sujet des locomotives sont : 1° l'abandon en principe de la machine Crampton pour la traction des express ; 2° l'adoption, mais seulement pour quelques lignes à très-fortes rampes et à trains lourds, de machines à huit roues couplées.

On a vanté la stabilité, l'entretien économique et le chiffre élevé de parcours annuel de la machine Crampton, par suite de la lenteur du mouvement du mécanisme. Cette lenteur est elle-même la conséquence du grand diamètre des roues motrices. Ces avantages sont réels, mais ils ne sont obtenus qu'au prix d'un inconvénient plus ou moins grave. Les grandes roues motrices placées au delà de la chaudière, et par suite loin du centre de gravité général, ne peuvent recevoir qu'une fraction limitée et souvent insuffisante de la charge, de sorte que l'adhérence fait défaut ; de là un démarrage très-paresseux et des pertes de temps très-sensibles pour les express, dont les arrêts sont rares, il est vrai, mais dont la marche est si serrée. Le degré de gravité de ces défauts dépend des conditions de tracé et de charge des trains. Lorsque le défaut d'adhérence est faible, on peut, comme on l'a fait sur le Nord, appliquer un lest à l'arrière des châssis ; mais, sur la Méditerranée, cet expédient serait insuffisant, le poids et la vitesse des trains express exigeant

enfin la condensation de la vapeur qui est le point de départ du fonctionnement de l'injecteur Giffard, ne s'opère plus à cause de l'élévation de la température de la vapeur et l'alimentation est suspendue.

Ces inconvénients, qui aboutissaient à une véritable impossibilité, ont eu leur solution dans l'emploi de la contre-vapeur, devenue aujourd'hui tout à fait pratique.

Le procédé consiste à injecter directement dans l'échappement de l'eau et de la vapeur. Celle-ci empêche l'atmosphère de la boîte à fumée de s'introduire dans les cylindres; l'eau, en se vaporisant, absorbe de la chaleur et limite l'élévation de la température et de la pression.

L'exemple donné au chemin de fer du Nord de l'Espagne a éveillé l'attention de toutes les compagnies françaises, mais aucune ne l'a suivi avec plus d'intelligence, de résolution et d'esprit progressif que celle de la Méditerranée qui en a déjà fait l'application à onze cent huit machines en 1868, et comptait en munir les autres machines dans les six premiers mois de 1869.

La compagnie de la Méditerranée a rendu les deux admissions d'eau et de vapeur indépendantes et a appliqué le mouvement à vis au levier.

Chemins à fortes rampes. — Deux systèmes sont en présence pour la traversée des grandes chaînes; dans l'un, le tracé s'enfonce profondément dans le massif, évite, mais au prix d'immenses travaux, les rampes et les courbes excessives et échappe à la région des neiges, dans laquelle règnent les tourmentes. Dans l'autre, qui accepte ces inconvénients en vue de l'énorme économie réalisée dans la construction, le chemin franchit les cols comme les routes ordinaires. Quoi qu'on fasse, quel que soit le mode de traction adopté, la vitesse est nécessairement très-limitée, tant à la descente qu'à la remonte sur les fortes inclinaisons; à la descente par précaution; à la remonte pour augmenter l'effort de traction disponible et par suite la charge remor-

quée et atténuer d'autant l'influence de poids mort du moteur.

Mais en augmentant ainsi la charge remorquée par la réduction de la vitesse, on se trouve en présence d'une autre difficulté, l'insuffisance possible de l'adhérence; de là des artifices essayés pour y suppléer.

Système Fell. — Les gouvernements français et italien ont autorisé M. Fell à établir sur la route du mont Cenis un spécimen du système qui porte son nom et est caractérisé par un rail central très-saillant sur lequel des roues horizontales placées sous la machine et recevant comme les roues portantes le mouvement du mécanisme, développent sous l'action d'une pression graduée à volonté au moyen de ressorts, le complément d'adhésion nécessaire.

L'inclinaison des rampes va jusqu'à 0.085, le rayon des courbes descend à 40 mètres; faute d'espace, la largeur de la voie a été réduite à 1.05.

On a essayé successivement des machines à 4 cylindres agissant séparément deux par deux sur les roues d'adhérence et sur les roues portantes, puis des machines à 2 cylindres seulement mettant en mouvement les 2 systèmes de roues en même temps. Les ruptures, malgré l'énormité des équarrissages, ont été fréquentes dans ce dernier cas. On reviendra donc dans les nouvelles machines aux 4 cylindres et l'on s'en trouvera bien.

Chaque véhicule a ses deux freins agissant l'un sur les roues, l'autre sur le rail central, pour modérer la vitesse à la descente ou se prémunir contre la marche en dérive en cas de rupture d'attelages à la remonte. Ces attelages, au surplus, sont très-robustes.

L'exploitation de cette petite ligne a été soumise, dès ses débuts, à de rudes épreuves par suite des pluies torrentielles de l'été, mais elle a franchi sans encombre l'hiver qui lui a épargné ses plus fréquentes rigueurs. Le service a présenté une régularité satisfaisante, sans accidents sé-

rieux et sans autres retards que ceux qu'ont occasionnés les avaries des machines. Les galeries couvertes construites fort légèrement et interrompues au faîte pour assurer la ventilation ont bien résisté, grâce au peu d'abondance des neiges.

Élever la locomotive à l'altitude de 2200 mètres, franchir les Alpes avec un tracé aussi tourmenté que celui d'une route rectifiée seulement çà et là, le faire avec régularité, avec une sécurité complète, c'est assurément un tour de force.

Il faut rendre justice à la hardiesse de M. Fell, au mérite de beaucoup de détails d'exécution, au dévouement du personnel, à la grandeur du résultat. Mais faut-il y voir une sanction pratique du système?

Après comme avant ce succès relatif, auquel il faut rendre hommage, les objections restent les mêmes. Ces objections sont indépendantes de la rigoureuse possibilité du système. La locomotive nous semble complétement dépaysée sur des rampes de 0.085, même bien au-dessous de ce point, et cela d'autant plus que ces rampes si outrées coïncident avec des courbes d'une raideur également excessive.

Système Agudio. — Dans les conditions de configuration du terrain, qui imposent à la locomotive de semblables tracés, la traction par machine fixe sur des plans inclinés à très-fortes pentes, faciles à appliquer sur le relief du sol, paraît infiniment préférable. M. Agudio a demandé l'autorisation d'établir le système dont il est l'inventeur en regard de celui de M. Fell. Il franchirait ainsi d'un seul bond, avec une inclinaison de 0.20 et même plus les 700 mètres de différence de niveau entre Lauslebourg et le sommet du col. S. Exc. le ministre a bien voulu accorder à cet ingénieur une subvention considérable, et la compagnie de la Méditerranée s'est associée de son côté à cette marque d'intérêt. Il est à désirer que cette grande expérience soit faite le plus tôt possible.

Chemin de la Croix-Rousse. — L'exploitation si active du plan incliné à 0.165 de la Croix-Rousse n'a donné lieu à aucun accident grave. Les freins à grappins qui doivent fonctionner automatiquement en cas de rupture du câble, sont, conformément aux règlements, l'objet d'une vérification journalière de la part des agents du contrôle. Tous les quinze jours on provoque, en détendant le câble, la chute des freins; le câble lui-même est soumis à des épreuves périodiques d'autant plus fréquentes qu'il a fait un service plus prolongé. Faites d'abord tous les quinze jours, elles sont renouvelées ensuite toutes les semaines, à moins que la compagnie ne préfère alors remplacer le câble pour éviter ces épreuves si répétées qui ne peuvent être faites que pendant la nuit.

La durée du câble varie de onze à quatorze mois.

Deux accidents, sans aucune gravité d'ailleurs, ont été causés par des portières restées ouvertes et sur lesquelles les voyageurs s'appuyaient. Pour prévenir les accidents de ce genre, la compagnie a appliqué récemment à ses voitures un système qui permet au conducteur de fermer d'un seul coup toutes les portières d'un même côté d'une voiture.

Les voitures à impériales ont été remplacées par un type beaucoup plus simple.

Le personnel se compose de 33 personnes, 1 chef d'exploitation, 2 agents pour la voie, 9 pour la traction, 21 pour le mouvement.

Ce chemin transporte annuellement 2 300 000 voyageurs et un grand nombre de charrettes.

Comme spéculation, le plan incliné de la Croix-Rousse donne de médiocres résultats, mais il rend à la population lyonnaise des services fort appréciés.

Si l'administration ne s'est jamais départie de la prudence que lui impose la responsabilité, elle s'est prêtée résolument à l'application des conceptions les plus hardies,

lorsqu'elles lui ont paru entourées de garanties complètes de sécurité.

Les chemins de la Croix-Rousse et du mont Cenis le prouvent. Nulle part des chemins de fer n'ont été exécutés dans des conditions aussi hardies et, au point de vue de la sécurité, le succès est complet.

Il va sans dire, d'ailleurs, que le mérite de ce succès appartient aux inventeurs, et que l'administration ne peut en revendiquer qu'un, le seul qui soit dans son rôle, celui d'avoir apprécié sainement les choses et engagé sans hésitation sa responsabilité.

Réseau d'Orléans. — *Locomotives.* — Le matériel moteur comprenait, au 31 décembre 1868, 729 machines locomotives, savoir : 193 à voyageurs, 221 mixtes, 291 à marchandises et 20 pour le service des gares.

Dans le courant de 1868, la compagnie a expérimenté sur ses lignes à fortes pentes, la machine le *Cantal*, locomotive à dix roues couplées et à deux cylindres munis d'un frein à contre-vapeur, avec lequel on peut régler la vitesse sans recourir aux freins des wagons. La puissance de cette machine est telle qu'on peut remarquer le train le plus lourd que comportent les attelages du matériel français. C'est le premier exemple de cinq essieux parallèles couplés et commandés par deux cylindres. Une disposition particulière, qui permet aux essieux de se déplacer latéralement, facilite le passage dans les courbes de faible rayon.

Une deuxième machine de même modèle est en voie de construction.

Parmi les perfectionnements apportés ou continués en 1868 au matériel moteur, on peut mentionner :

1° L'établissement de freins à contre-vapeur sur un grand nombre de machines ayant à circuler sur les sections accidentées ;

2° Le changement de marche à vis complétement indépendant du frein à contre-vapeur et par lui-même précieux

pour le mécanicien, qui peut alors à coup sûr, en cas d'obstacle imprévu, battre contre-vapeur;

3° Le frein à contre-vapeur adopté sur la ligne de Limours.

Mouvement. — La vitesse des trains a été réglée comme il suit :

	VITESSE A L'HEURE	
	en pleine marche.	effective.
	kilomètres.	kilomètres.
Pour les trains express.	65	53.00
Pour les trains omnibus.	50	33,33

Réseau de l'Ouest. — *Locomotives.* — Le matériel moteur se composait, au 1er janvier 1868, de 630 locomotives des types suivants : 52 à roues indépendantes, 320 à quatre roues couplées, 238 à six roues couplées et 20 pour le service des gares. Ce matériel est employé sur le nouveau réseau comme sur l'ancien.

La compagnie n'a pas établi de distinction entre les machines destinées aux trains de voyageurs et celles des trains de marchandises. Les machines à six roues couplées sont toutefois plus particulièrement destinées aux trains de marchandises. Quant aux machines à quatre roues couplées, elles font un très-bon service même dans les trains express, dont la vitesse est maintenue du reste dans des limites modérées.

Mouvement. — Les vitesses des trains sont comme suit :

	VITESSE PAR HEURE	
	en pleine marche.	effective.
	kilomètres.	kilomètres.
Trains express.	60 à 70	40 à 50
Train de marée de Paris à Dieppe. .	»	57
Trains omnibus.	30 à 50	17 à 40

Les moyennes pour les trains express sont de 60 kilomètres en pleine marche et de 45 kilomètres effectifs.

Pour les trains omnibus, les chiffres moyens sont 46 et 27. La vitesse effective de 17 se rapporte au chemin de ceinture. Ce résultat peu satisfaisant tient au rapprochement des stations. Le train vient à peine de reprendre sa marche normale que déjà il faut songer à l'arrêter.

La vitesse des trains de marée de Paris à Dieppe est très-satisfaisante. Pour les autres trains express on ne pourrait obtenir un meilleur résultat effectif qu'en augmentant la vitesse ou en réduisant le nombre des arrêts.

L'accélération de vitesse n'est guère possible sur des chemins à profil accidenté et souvent à simple voie.

Il ne faut pas songer à réduire le nombre des arrêts, cela soulèverait les plus vives réclamations de la part des déshérités. Les arrêts ne peuvent être réduits que sur les lignes où il existe plusieurs trains express, ce qui permet d'arrêter le premier à un point, le second à un autre; mais il n'existe de double train que de Paris à Dieppe, c'est ce qui a permis de réduire exceptionnellement à deux le nombre des arrêts sur un parcours de cette étendue et d'obtenir la vitesse effective de 57 kilomètres.

Dans les conditions particulières où le réseau de l'Ouest se trouve placé, les vitesses indiquées sont acceptables.

Réseau du Midi. — *Locomotives.* — A la fin de 1868, le nombre des machines en service était de 326 dont 40 à voyageurs, 124 mixtes, 152 à marchandises et 10 pour le service des gares.

Sur ce nombre, 22 machines à marchandises ont été mises en service en 1868.

Les machines à voyageurs font la traction des trains de grande vitesse. Elles sont presque toutes munies d'un frein spécial destiné à produire un arrêt plus prompt en cas d'accident.

Les machines mixtes sont appliquées aux trains-omnibus

mixtes et quelquefois aux trains de marchandises peu chargés.

Les machines à marchandises sont généralement employées à remorquer les trains que leur nom désigne. 26 cependant d'entre elles font aussi sur les lignes à profil accidenté le service des trains de voyageurs. Ces 26 machines ont une grande puissance et peuvent marcher à la vitesse des trains de voyageurs. La compagnie en portera le nombre à 48 en 1869. Elle a fait, en outre, la commande au Creusot de 20 machines à marchandises d'une grande puissance, ce qui portera le nombre des machines de ce type à 35.

On a pourvu 46 machines à marchandises d'appareils à contre-vapeur. Cet appareil rend de très-grands services à la descente des fortes pentes dans les Pyrénées. Aujourd'hui, grâce à lui, on peut circuler en toute sécurité sur ces pentes. Le matériel ne paraît pas d'ailleurs avoir souffert jusqu'à présent de cette installation.

Mouvement. — Le service des gardes-freins laisse parfois à désirer. Ces agents ne sont pas assez préoccupés du service important qui leur est confié. Dans des expériences récentes, auxquelles a procédé le service du contrôle, on a reconnu que fréquemment les freins ne sont serrés que longtemps après le signal donné par le mécanicien. Cette négligence peut avoir des conséquences funestes pour la sécurité.

Le service des freins est très-bien fait sur la partie de voie de la ligne de Toulouse à Bayonne, comprise entre Caprein et Tournay, dont l'inclinaison est de 0.032. Une équipe spéciale de quatre hommes accompagne le train pour faire le service des freins.

La traction s'y fait d'ailleurs d'une manière particulière au moyen de deux machines. A la remonte, une machine est placée en tête, l'autre en queue du train, à la descente les deux machines sont en tête.

Les trains montants ne peuvent dépasser la vitesse de 25 kilomètres à l'heure et les trains descendants celle de 30.

Observations. — Toutes les compagnies se préoccupent évidemment d'augmenter la puissance des machines.

Pour le service des marchandises on est arrivé à des locomotives à dix roues couplées avec deux cylindres.

Pour le service des voyageurs la machine Crampton, *en raison de ses qualités incontestables*, continue à être employée avantageusement partout où l'on peut se contenter de deux roues motrices, c'est-à-dire d'une charge d'adhérence de 13 tonnes au plus. Elle compte plus de quinze ans de service dans des conditions irréprochables.

Mais pour les profils à forte déclivité, pour les trains qui, quoique rapides, doivent être fortement chargés, ce type de machine n'offre pas assez d'adhérence. On a recours alors aux machines à quatre roues couplées et l'expérience a démontré qu'on peut le faire avec sécurité, malgré les inconvénients qui tiennent à la plus grande complication du mécanisme et au moindre rayon des roues.

Au point de vue de la traction, on peut résumer ainsi les tendances actuelles : un seul moteur par train sans surcharger aucune roue; en raison des fortes déclivités qui se rencontrent maintenant sur tous les réseaux, augmentation de la puissance des machines qui permet d'ailleurs d'accroître la charge des trains sur les profils plus favorables.

Ces conditions rendent plus impérieux le besoin de rester maître de la vitesse des trains. La nécessité d'arrêter rapidement leur marche qui a toujours préoccupé l'opinion publique, le besoin d'empêcher l'accélération de vitesse sur les pentes qui s'est imposé surtout depuis l'exécution de tant de lignes à fortes déclivités acquièrent de plus en plus d'importance et, comme cela arrive souvent, la découverte des moyens d'obtenir ce résultat a été faite quand elle devenait indispensable.

Pendant longtemps on n'a appliqué les freins qu'aux ten-

ders et aux voitures; mais ces freins très-multipliés exigeaient un personnel nombreux dont l'action était loin d'être toujours immédiate. On a eu recours, pour diminuer ces inconvénients, aux freins automoteurs qui, comme on l'a fait remarquer, sont très-logiques. Malheureusement, jusqu'à présent, ils ne se sont pas montrés aussi pratiques et il en a été presque toujours ainsi, sur les chemins de fer principalement, de tous les appareils de ce genre en raison de leur mécanisme trop délicat et du fonctionnement incessant que comporte l'exploitation. Le frein Guérin en particulier qui a été très-prôné en son temps est à peu près condamné.

Tous les freins par frottement ont d'ailleurs l'inconvénient grave d'exercer sur les roues et les rails une action destructive. Ils n'agissent qu'en développant une résistance dont le fer des roues et des rails est l'aliment.

Les moyens d'arrêt des trains doivent avant tout être sous la main du mécanicien. Aussi a-t-on, dans ces derniers temps surtout, appliqué des freins aux locomotives. La compagnie du Nord a même mis à la portée du mécanicien le frein du fourgon lesté qui suit le tender.

Mais la véritable solution de l'arrêt rapide du train et surtout du règlement assuré de leur vitesse sur les fortes pentes a été donnée par les appareils qui ont rendu l'emploi de la contre-vapeur pratique. Avec elle le mécanicien suffit à la besogne; il peut, sur les fortes pentes, réduire à la vitesse imposée par les conditions de sécurité la marche du train que l'action directe de la machine pourrait entraîner en descendant. Il dispose d'autant de force pour le ralentissement en pente qu'il en avait pour l'accélération en rampe. La contre-vapeur agit d'ailleurs sans enrayer et ménage par conséquent autant que possible les roues et les rails.

Ce moyen d'action si puissant, obtenu par des procédés si simples, est certainement le progrès le plus important

qu'on ait réalisé depuis longtemps dans l'exploitation des chemins de fer.

Les exposés de MM. les inspecteurs généraux du contrôle permettent de conclure au point de vue de l'étude des lignes :

Que la question des pentes et rampes des chemins de fer peut être considérée maintenant comme résolue, au moins en ce sens qu'il n'y a plus à se préoccuper des dangers qui pouvaient faire hésiter à adopter au besoin de fortes déclivités.

Les locomotives construites pour les inclinaisons qui conviennent à leur nature ont réalisé déjà une si grande puissance de traction sans dépasser par essieu la charge de 12 à 13 tonnes, qu'on peut considérer cette charge comme la limite de celles auxquelles les rails peuvent être soumis. Ils seront d'ailleurs à l'avenir moins exposés à être usés par l'effet des freins. Pour les ouvrages d'art il sera utile de ne pas perdre de vue le poids total des moteurs qui est un des éléments des calculs de résistance des épreuves auxquelles ces ouvrages donnent lieu.

XIII. — APPRÉCIATION FINALE DU SERVICE.

Observations. — Il résulte des appréciations des rapports que le personnel inférieur des compagnies fait son service avec soin et qu'il n'y a guère à lui reprocher que des fautes qui tiennent plus aux défaillances de la nature humaine qu'à la négligence et dont les agents sont le plus souvent, du reste, les premières victimes.

Les employés supérieurs des compagnies portent la plus grande attention à tout prévoir, à tout régler, et la responsabilité des accidents ne remonte guère jusqu'à eux.

Ces employés et les conseils d'administration ont certainement des préoccupations qui se rattachent aux intérêts matériels de la compagnie ; mais un de MM. les inspecteurs

généraux le dit, et on peut admettre que c'est l'opinion commune : « Si la différence de point de vue amène néces-« sairement des discussions (entre les compagnies et le ser-« vice du contrôle), elles aboutissent presque toujours à « une transaction qui concilie tous les intérêts. »

Ce résultat, il faut le constater, est heureux et montre le bon esprit des contrôleurs et des contrôlés et l'effet salutaire de la responsabilité. La persuasion est évidemment, dans un tel service surtout, le meilleur moyen d'action, et les pouvoirs de l'administration restent comme ressource pour les cas rares où l'on ne peut arriver à une conclusion amiable.

Les rapports indiquent assez que les compagnies sont toujours à la recherche des améliorations et des progrès. Les innovations apparentes sont cependant peu nombreuses, et cela se comprend par la raison que dans des exploitations si considérables le passé enchaîne souvent le présent; que les fautes commises deviennent facilement ruineuses; que les questions en apparence les plus simples soulèvent mille difficultés d'application, et qu'il ne suffit pas de quelques essais réussis pour être sûr du caractère pratique de ce que l'on étudie. L'expérience du passé le démontre surabondamment. L'impatience n'est guère de mise en pareille matière et l'essentiel est que les compagnies se tiennent au courant de ce qui se fait ailleurs et aient toujours en vue l'amélioration du service.

L'exposé de 1868 fournit à cet égard des constatations satisfaisantes.

N° 2

NOTE

Sur les prix de revient et les procédés de construction de ponts avec tablier métallique et voûtes en briques. — Établissement en sous-œuvre sous les chemins de fer en exploitation.

Par M. MARIN, ingénieur des ponts et chaussées.

EXPOSÉ.

Le chemin de fer de raccordement exécuté par la compagnie de l'Ouest (*) en 1867-68, dans l'intérieur de Paris, entre la ligne d'Auteuil à Courcelles et celle de Ceinture (R. D.) à Batignolles-Clichy, a nécessité l'établissement de quatre grands ouvrages avec tabliers métalliques et voûtes en briques, savoir :

1° Sous les voies du chemin de fer de l'Ouest (Pl. 1, *fig.* 1), un grand pont construit en sous-œuvre en pleine exploitation, pour livrer passage au boulevard militaire, élargi à 40 mètres aux frais de la ville de Paris. Cet ouvrage, qui se développe sur 108^m.20 de largeur moyenne, a son ouverture de 40 mètres divisée en trois travées de 10, 17 et 13 mètres comprises entre une culée, deux rangs de colonnes et une pile en pierres.

2° Sous les mêmes voies de l'Ouest, construit dans les

(*) M. Jullien, directeur de la compagnie, avait confié ces travaux à M. Marin, sous la direction de M. E. Clerc, ingénieur en chef de la voie.

mêmes conditions et accolé au précédent ouvrage dont il est séparé par la pile en pierres, un viaduc formant tunnel de 130^m.25 de longueur moyenne, et 8 mètres d'ouverture, destiné au passage du chemin de fer de raccordement.

3° Sous le carrefour de la porte d'Asnières (Pl. 1, *fig.* 2) un pont de 105 mètres de développement et d'une ouverture de 16 mètres correspondant à quatre voies ferrées.

4° Sous le carrefour formé par la rencontre de la rue Brémontier et du boulevard Pereire (Pl. 1, *fig.* 3), un grand pont de forme très-compliquée et d'environ 2 600 mètres quarrés de superficie, livrant passage aux voies de la ligne d'Auteuil, à celles du raccordement, qui vont un peu plus loin se réunir aux premières, enfin aux voies spéciales et aux quais de la Gare terminale de ce raccordement. La forme du tablier et la répartition des supports étaient soumises à une double sujétion : en haut les alignements des rues qu'il fallait suivre scrupuleusement; en bas les voies ferrées et les quais qui obligeaient à distribuer les colonnes d'appui d'une façon tout à fait irrégulière, et à les espacer de telle sorte que quelques-unes devaient supporter des charges énormes.

Quelques indications sur les moyens d'exécution des deux premiers ouvrages construits en sous-œuvre sous des voies ferrées en pleine exploitation, et sur le surcroît de dépenses qui en résulte par mètre courant de voie, ou par mètre quarré de surface à étayer, seront probablement accueillis comme ayant quelque utilité pratique par ceux de nos camarades qui peuvent être appelés à étudier de semblables projets, ou à les discuter avec les ingénieurs des compagnies, lorsqu'il s'agit de faire passer sous des chemins de fer exploités une nouvelle voie de communication, telle que route, canal ou voie ferrée d'intérêt local. Sans doute, s'il est possible d'intercepter momentanément la circulation sur une des voies du chemin de fer, le pont en dessous

pourra avantageusement être exécuté à ciel ouvert par parties successives. Mais souvent il sera préférable, pour ne pas déranger le service du chemin de fer et pour éviter les frais résultant de l'installation de la voie unique, d'accepter franchement la construction en sous-œuvre sous les rails.

Ce dernier système comporte plusieurs opérations successives qui, dans le cas particulier que nous avions à traiter, ont été les suivantes :

1° Modification préalable des voies ferrées et pose des longrines ;

2° Étayements et déblais généraux jusqu'à 3m.80 au-dessous des longrines ;

3° Galeries basses pour l'édification en sous-œuvre des culées et de la pile ;

4° Assemblage et levage du tablier métallique au milieu des étais ;

5° Calage provisoire des longrines sur les fers, établissement des colonnes et construction des voûtes en briques et des chapes ;

6° Enlèvement des longrines et rétablissement des voies.

Nous décrirons successivement ces diverses opérations et nous indiquerons les dépenses correspondantes, en les rapportant au mètre courant de voie ou au mètre quarré de surface à étayer.

Nous entrerons ensuite dans quelques détails sur les dispositions prises en vue des effets de dilatation qui se propagent dans plusieurs sens lorsqu'il s'agit de vastes tabliers métalliques et sur le mode de construction utile à adopter dans ce cas pour les colonnes lourdement chargées et exposées à ces effets de dilatation.

Passant après cela à l'examen spécial du système de construction des ponts avec tabliers métalliques et voûtes en briques, nous présenterons quelques considérations pratiques sur le mode de calcul de résistance des fers et

sur le résultat des épreuves de ces ponts constatant la solidarité que les voûtes établissent entre toutes les parties de la construction ; et nous rendrons compte de quelques expériences relatives à la résistance à l'écrasement des briques des voûtes sujettes au passage des roues lourdement chargées.

Enfin nous terminerons en donnant un tableau résumé des dimensions et des dépenses de construction des quatre ouvrages avec tabliers métalliques et voûtes en briques établis sur notre chemin de fer de raccordement, et nous montrerons que, malgré des différences considérables dans leurs ouvertures, et dans leurs formes qui sont les unes très-simples, les autres très-compliquées, le prix de revient de chaque ouvrage rapporté au mètre quarré de la surface couverte comprise entre les parements vus des culées et les bords extérieurs des poutres de tête, reste toujours à très-peu près le même et égal à 300 francs par mètre quarré, ce chiffre comprenant l'ensemble des dépenses à faire pour les maçonneries et le tablier métallique, abstraction faite des déblais qui varient dans chaque cas particulier et des dépenses exceptionnelles qui pourraient résulter de fondations difficiles, ou des sujétions de l'établissement en sous-œuvre sous des chemins de fer en exploitation, etc.

Cette observation expérimentale, que nous avons vérifiée sur un grand nombre d'autres exemples, fournira un moyen très-commode pour arriver instantanément, par un simple mesurage de la surface à recouvrir, à une évaluation approximative satisfaisante pour des avant-projets d'ouvrages analogues, quelles que soient leurs formes, leurs ouvertures et la répartition de leurs supports.

CHAPITRE PREMIER.

CONSTRUCTION EN SOUS-ŒUVRE SOUS LES VOIES EN EXPLOITATION.

Le pont de 40 mètres et le viaduc de 8 mètres (P. 1, *fig.* 1) devaient être établis sous un large faisceau de voies comprenant :

1° Au centre, quatre voies principales affectées au service des lignes de Normandie et à celui des lignes de Banlieue R. D. (Versailles, Saint-Germain et Argenteuil) ;

2° A gauche, les voies d'arrivage, d'expédition et de manœuvre de la gare des marchandises de Batignolles et du chemin de fer de Ceinture (R. D.) ;

3° A droite, les voies de service pour le dépôt des machines, pour les remises de voitures et les ateliers de réparation du matériel.

Afin de donner une idée de l'énorme circulation des trains et machines sur ce point, nous présentons ci-après le compte journalier des passages de trains de voyageurs ou de marchandises et des manœuvres de trains ou de machines :

Passages de trains de voyageurs. — Lignes de Normandie et de banlieue, descente et remonte	152
Passages de trains de marchandises.— Lignes de Normandie, de Bretagne et du Nord par Argenteuil	66
Passages de trains de ceinture (expédition et arrivage), chaque train donnant lieu à un rebroussement et par suite à deux passages	100
Manœuvre des trains en gare pour leur composition ou leur décomposition : toutes les voies de la gare convergeant vers le point qui nous occupe, chaque manœuvre donne lieu à deux passages et l'on peut estimer le nombre journalier de ces passages à	250
Communication des machines avec le dépôt (entrée ou sortie), chaque manœuvre donnant lieu à deux passages à cause du rebroussement	150
Service des remises de voitures et des ateliers de réparation du matériel	32
Nombre total des passages de trains ou magasins par vingt-quatre heures	750

Soit en moyenne trente et un passages par heure.

Cette énorme circulation était concentrée sur un groupe de voies s'épanouissant en éventail au moyen de nombreuses communications, de telle sorte qu'à une extrémité de la fouille à ouvrir on rencontrait huit voies et à l'autre extrémité quatorze. La moindre modification de ce faisceau aurait entraîné un remaniement complet de la gare des marchandises, des dépôts de machines et des ateliers ; il était donc impossible de songer à détourner momentanément les voies dans le but de travailler à ciel ouvert par parties successives, et il n'y avait de praticable que la construction en sous-œuvre, sous le faisceau tel qu'il existait sans rien y déranger ; on ne pouvait pas davantage modifier les heures des passages de trains qui se trouvaient impérieusement commandées par les exigences d'un service très-compliqué ; enfin il était impossible d'imposer la moindre discontinuité aux manœuvres de la gare de marchandises qui occupent toute la durée du jour et de la nuit.

Il fallait donc absolument aborder franchement le problème de la construction d'un grand ouvrage sous des voies ferrées soumises à une circulation incessante, sans imposer au service de l'exploitation aucune discontinuité, ni aucune autre sujétion qu'un ralentissement convenable des trains. D'un autre côté, la prudence la plus grande nous était commandée, afin d'éviter non-seulement tout accident de nature à compromettre la sécurité des voyageurs, mais même toute altération du service régulier des trains, si légère qu'elle pût être ; car la moindre interruption des voies, en cours d'exécution des travaux, pouvait entraîner des conséquences déplorables, peut-être même arrêter à la fois tout le service de voyageurs de banlieue, celui de la grande ligne et tout le mouvement de la gare de marchandises des Batignolles et de la ligne de Ceinture.

Telles étaient les conditions du problème que nous avons pu résoudre heureusement sans donner lieu au moindre

utiles pour exécuter, au fur et à mesure de l'avancement des fouilles les étayements sous longrines et maintenir celles-ci à un niveau invariable, sans imposer à l'exploitation d'autre gêne que le ralentissement des trains à la vitesse d'un homme marchant au pas.

Les menues dépenses faites par le premier service pour l'entretien des voies et appareils placés sur longrines ont consisté à peu près exclusivement en frais de surveillance de jour et de nuit et se sont élevées à 4 300 francs, ce qui correspond à 6 francs par mètre courant de voie et 2 francs par mètre quarré de surface étayée.

Il nous reste à rendre compte des procédés d'exécution employés par le service des travaux pour accomplir la lourde tâche qui lui était imposée.

§ 2. *Étayement et déblais généraux jusqu'à* 3ᵐ.80 *au-dessous des longrines* (Pl. 2 et 3). — La portion du grand pont correspondante à la surface à étayer comprenait dix poutres (Pl. 2, *fig.* 1, nᵒˢ 10 à 19) espacées de 4ᵐ.53 d'axe en axe et réunies par des entretoises distantes entre elles de 1ᵐ.13 ou 1ᵐ.10. Les poutres, d'une longueur de 41ᵐ.80, devaient être formées de deux semelles en tôle de 0ᵐ.60 de largeur réunies par une double paroi en treillis de 1ᵐ.50 de hauteur. On devait les apporter de l'atelier par morceaux d'environ 6ᵐ.50 de longueur qu'il fallait introduire à travers les étais, et assembler sur place bout à bout et avec les entretoises. Celles-ci devaient avoir 4ᵐ.30 de longueur et offrir l'aspect d'un I de 0ᵐ.17 de largeur et 0ᵐ.40 de hauteur, terminé à chaque extrémité par de grands goussets destinés à être rivés sur les montants des parois en treillis des grandes poutres.

Les *fig.* 3 et 4, Pl. 2 et la *fig.* 19, Pl. 3, rendent suffisamment compte de ces dispositions d'ailleurs très-simples. Mais comme il fallait, en raison des assemblages à exécuter sur place, réserver un jeu suffisant pour les riveurs entre le dessus des poutres et le dessous des pièces

du plancher provisoire, il était impossible d'établir immédiatement cette ossature métallique à son niveau définitif; il fallait l'assembler à un niveau plus bas de $0^m.75$, et l'élever après cela tout d'une pièce au niveau voulu. Les étayements devaient en conséquence être disposés suivant des lignes régulières, parallèles longitudinalement aux poutres en fer, transversalement aux entretoises, afin de réserver, comme sur un damier, les vides nécessaires à l'assemblage et à l'élévation verticale de l'ensemble de l'ossature en fer. Mais les directions variables et obliques du faisceau de voies à étayer ne permettaient pas de placer directement les étais sous les longrines, et nous avons dû préalablement introduire par dessous des chapeaux transversaux de $\frac{0.22}{0.30}$ sous lesquels nous avons pu disposer le damier régulier formé par les étais verticaux.

Chaque file longitudinale d'étais (Pl. 2, *fig.* 2 et Pl. 3, *fig.* 1) est formée de poteaux de $\frac{0.30}{0.30}$ espacés de $3^m.40$ en moyenne et de contrefiches de $\frac{0.25}{0.25}$ disposées en éventail, le tout s'appuyant sur le sol au moyen de larges semelles de $\frac{0^m.60}{0^m.25}$. Ces files sont espacées de $1^m.51$ d'axe en axe. et les entretoisements transversaux sont disposés (Pl. 2, *fig.* 3) de manière à laisser entièrement libre une galerie longitudinale correspondant à chaque poutre en fer.

Dans les galeries transversales de largeur variable comprises entre les poteaux verticaux, les entretoises en fer peuvent se mouvoir verticalement dans les vides laissés entre les contrefiches et les poteaux, ou entre deux contrefiches convergentes : deux galeries transversales plus larges, l'une de $4^m.53$ voisine de la culée, l'autre de $4^m.35$ voisine de la pile, ont été réservées pour faciliter l'introduction des morceaux de poutres en tôle à travers

les étais et pour livrer passage à des trains de terrassements.

Restait à déterminer la profondeur à donner aux fouilles générales et aux étayements correspondants. La plate-forme définitive à déblayer devait descendre à 7m.50 au-dessous des longrines. Mais vouloir exécuter ces déblais en une seule fois aurait eu comme conséquence d'augmenter beaucoup les dépenses et les difficultés des étayements tout en diminuant les garanties de solidité, de compliquer l'opération de l'assemblage des fers qui aurait exigé des échafaudages spéciaux, enfin d'accroître considérablement le cube des déblais coûteux à exécuter en galerie.

Pour éviter ces inconvénients, nous avons limité les étayements généraux et les déblais correspondants à une profondeur de 3m.80, jugée suffisante pour donner au-dessus et au-dessous des poutres en fer de 1m.50 de hauteur, le jeu nécessaire à l'assemblage de l'ossature métallique. Cette profondeur correspondait précisément au niveau du terrain naturel solide qu'on rencontrait au-dessous d'un remblai de date assez récente et non encore complétement tassé.

Après avoir exécuté ce premier déblai général, nous sommes descendus au moyen de galeries blindées jusqu'au niveau des fondations des culées et de la pile, situé à 3m.70 en contrebas.

Quant aux colonnes, nous avons pu les fonder et les mettre en place sans la moindre sujétion, grâce au procédé suivant :

L'ossature métallique élevée à son niveau définitif et reposant par ses extrémités sur les maçonneries a été appuyée provisoirement sur le sol par des supports en charpente (Pl. 3, *fig.* 19); et au moyen de calages interposés entre les chapeaux du plancher en charpente et les fers, elle est venue supporter les voies ferrées, ce qui a permis de supprimer les étayements, de déblayer librement les tranchées

correspondantes aux deux files de colonnes et d'exécuter facilement les fondations et la mise au levage de celles-ci sous les poutres.

Après avoir motivé, par les considérations précédentes, le système général adopté, nous nous bornerons à décrire succinctement l'opération des étayements généraux et des déblais en galerie correspondants.

La première galerie a été percée suivant la ligne CD du plan général (Pl. 2, *fig.* 1), et les *fig.* 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 et 10 de la Pl. 3, montrent la succession des opérations faites pour arriver à la mise en place des éventails définitifs en bordure de cette première galerie. Ces opérations étaient nécessairement assez complexes, attendu qu'on avait à travailler dans un remblai récent et non encore tassé : on poussait une première galerie d'avancement comportant des étais de 2 mètres de hauteur seulement placés sous les longrines; à travers ces petits étais on introduisait par longueur de 5 à 6 mètres des chapeaux qu'on fixait sous les longrines par des tire-fonds; on rétablissait les petits étais sous ces chapeaux, et l'on blindait les parois latérales du déblai en ayant soin d'opérer, au moyen de coins, des relevages successifs sous les étais partout où le terrain d'appui venait à tasser. A 10 mètres environ en arrière, on faisait suivre une galerie haute en descendant le déblai jusqu'à la profondeur prévue de 3m.80 au-dessous des longrines; les petits étais placés sous les chapeaux étaient remplacés au fur et à mesure par des cadres en charpente (*fig.* 4), contreventés longitudinalement (*fig.* 5). Ces cadres provisoires fournissant un appui solide aux longrines, on procédait à l'élargissement à droite et à gauche, toujours par deux étages successifs de déblais, et dans l'intervalle des cadres provisoires de la première galerie, on venait placer les deux files d'éventails définitifs qui bordent cette première galerie.

L'élargissement de chaque côté de ces première files

d'éventails définitifs était obtenu par des procédés analogues (Pl. 3, *fig.* 8 et 9) comportant : un élargissement sur deux étages de déblais successifs; de petits étais provisoires sous longrines pour permettre le passage des chapeaux longitudinaux; de grands étais provisoires placés obliquement sous les chapeaux pour permettre l'établissement des semelles d'appui sur le sol; puis le placement des poteaux verticaux qu'on coinçait solidement entre la semelle et le chapeau correspondant. Les contrefiches en éventail étaient disposées ensuite et coinçées à leur pied sur la semelle.

Enfin, on contreventait les files de poteaux par des croix de Saint-André dans le sens longitudinal.

Tout ce système d'étayements provisoires et définitifs ne comportait aucun assemblage; toutes les pièces étaient facilement maniables; la charpente étant simplement roidie par des coinçages, on avait toujours disponible le moyen de remédier aux tassements du sol, comme aussi d'opérer facilement le déplacement momentané de celles des pièces de charpente qui pourraient gêner le montage des fers au milieu des étais.

§ 3. *Galeries basses pour l'édification en sous-œuvre des culées et de la pile.* — L'étayement général étant ainsi exécuté jusqu'à la profondeur de 3m.80 au-dessous des longrines, et les deux parois extrêmes du déblai ayant été consolidées par des blindages, on a entrepris de descendre à 3m.70 en contrebas les fouilles des culées et de la pile, en commençant par les deux fouilles basses extrêmes, celles des culées. L'une d'elles devait être pratiquée à travers un terrain de sable fin très-coulant et exigeait les plus grandes précautions ; on avait à tenir compte en effet de la poussée résultant d'une charge supérieure de 3m.80 de remblai, et des vibrations imprimées par le passage des trains; et l'on comprend l'importance d'une semblable poussée sur la paroi d'un fouille qui devait descendre à 7m.50 en contre-

bas des longrines. La culée à construire étant divisée en portions de 4m.53 de longueur par des chaînes de pierre de taille qui correspondaient à l'appui des poutres, nous avons procédé à la fouille et à l'édification des maçonneries par parties successives d'une longueur égale à 4m.53 et nous avons descendu le déblai de chaque partie au moyen de trois étages successifs de déblais et d'étayements provisoires (Pl. 3, *fig.* 11, 12, 13, 14 et 15), savoir : 1° introduction sous les grandes semelles longitudinales supportant les étayements supérieurs, d'un chapeau transversal convenablement calé en dessous (*fig.* 12) ; 2° descente à un étage inférieur au moyen de petits étais et du blindage des parois latérales (*fig.* 13) ; 3° étais provisoires obliques (*fig.* 11 et 14) placés sous le chapeau transversal supérieur et permettant la mise en place du cadre de blindage définitif (*fig.* 15). Ce dernier comprend une semelle transversale posée sur le fond de la fouille, deux poteaux formant le prolongement des poteaux des étayements supérieurs, et trois cours d'entretoises contrebutant les poteaux latéraux par le haut, par le bas et par le milieu. En bourrant avec soin derrière le blindage, on obtenait ainsi une galerie solide de 4m.53 de longueur où l'on s'empressait d'établir la portion de maçonnerie correspondante, pendant qu'on entreprenait le déblai d'une tâche voisine. La semelle transversale inférieure, le poteau du côté des terres et le blindage restaient englobés dans la maçonnerie ; le chapeau transversal supérieur était scié au ras des semelles longitudinales des étayements supérieurs, et les poteaux inférieurs correspondant au parement vu de la maçonnerie étaient coincés contre ce parement (Pl. 3, *fig.* 16).

La maçonnerie de la pile a été exécutée dans une galerie blindée analogue, et avec les mêmes précautions.

Nous sommes ainsi arrivés à la situation figurée (Pl. 2, *fig.* 2), savoir : une vaste plate-forme de déblai arasée à 3m.80 au-dessous des longrines, et les maçonneries de la

pile et de la culée du grand pont arasées au niveau inférieur correspondant à l'assemblage des fers. Quant à la culée du viaduc de 8 mètres, elle avait pu être élevée de suite jusqu'au niveau des pierres d'appui des poutres.

Les opérations d'étayements et de déblais en galerie que nous venons de décrire comportaient de nombreuses sujétions, dont le règlement est toujours difficile avec un entrepreneur. Nous avons écarté toute difficulté par une entente préalable réalisée aussitôt que l'ingénieur et l'entrepreneur eurent été en mesure de réunir des données suffisantes. Des attachements contradictoires ayant été pris dès le début de l'opération, et la marche normale théorique des travaux ayant été d'autre part mûrement discutée, il fut reconnu :

1° Que pour un mètre cube de charpente entrant dans la composition des étayements définitifs, il fallait préalablement mettre en œuvre 3 mètres cubes d'étayements provisoires dont $\frac{1}{5}$ à compter en premier emploi et $\frac{4}{5}$ en réemploi par suite des déplacements successifs; en conséquence on convint :

De constater simplement le cube de la charpente des étayements définitifs à compter à 60 francs le mètre cube, prix comprenant la fourniture des ferrures et la dépose difficile dans l'embarras des fers;

Puis d'admettre pour les étayements provisoires un cube trois fois plus grand, à compter : $\frac{1}{5}$ en premier emploi à 42 francs et $\frac{4}{5}$ en deuxième emploi à 15 francs;

2° Que pour tenir compte des sujétions résultant de l'embarras des étais, des bourrages à faire derrière les blindages, des frais d'éclairage de nuit, enfin de la nécessité de sortir les déblais à la brouette pour les mettre en dépôt en dehors de la surface étayée, ou bien les recharger sur wagons, il serait compté en sus du prix général de 1f.50 applicable aux déblais courants de l'entreprise transportés en remblai, une plus-value ainsi fixée :

1f.50 par mètre cube pour les déblais en galerie jusqu'à la plate-forme générale des étayements;

2f.50 par mètre cube pour les déblais des galeries basses blindées correspondant aux fouilles des culées et de la pile.

Cette convention qui a sauvegardé les intérêts de la compagnie en prévenant toute difficulté de règlement de compte, a eu aussi l'avantage de stimuler l'entrepreneur, M. Joumelle, qui a pu développer dans un ouvrage difficile toute son intelligence et son énergie. Grâce à un travail incessant de jour et de nuit, nous avons en soixante-dix jours, du 1er septembre au 10 novembre 1867, établi sur étais une surface de 2 025 mètres quarrés comportant environ 700 mètres cubes d'étayements définitifs, 2 100 mètres cubes d'étayements provisoires et 8 400 mètres cubes de déblais en galerie.

Dans les trois semaines suivantes, du 10 au 30 novembre, nous avons réalisé les fouilles inférieures en galerie blindée et exécuté les maçonneries basses des culées et de la pile, de telle sorte que l'ensemble des étayements, des déblais et de l'édification en sous-œuvre des maçonneries, n'a exigé que trois mois en tout.

§ 4. *Assemblage et levage du tablier métallique au milieu des étais.* — Les travaux d'étayements et de déblais ayant été terminés plus vite qu'on ne l'avait espéré, la préparation des fers à l'usine Cail et Ce ne s'est pas trouvée assez avancée pour procéder à l'assemblage sur place dès le 1er décembre 1867, comme cela eût été possible. Cette opération n'a pu commencer que le 15 janvier 1868 et elle a été, du reste, conduite avec une remarquable activité par M. Moreaux, ingénieur de la maison Cail; car elle a été terminée en deux mois.

Les morceaux de poutres d'environ 6m.50 de longueur, étaient apportés sur des lorrys par la voie ferrée passant sous la galerie large CD (Pl. 2, *fig.* 1). Ces morceaux, après avoir pu tourner de 90 degrés dans la galerie grâce à la sup-

pression momentanée de deux des contrefiches de l'étayement, étaient roulés dans le couloir longitudinal de 1m.20 qui restait libre entre les poteaux des fermes en charpente, et l'on procédait à l'assemblage et aux rivures en réglant le niveau du tablier métallique à 0m.75 plus bas que sa cote définitive, de manière à conserver aux riveurs un jeu convenable d'environ 1 mètre entre le sol et le dessous des poutres, et entre le dessous des poutres et le dessous du plancher qui supporte les voies. On apportait ensuite les entretoises faisant corps avec les grands goussets des extrémités. On les mettait en place et on les rivait sur les poutres en facilitant l'opération par le déplacement momentané et local de quelques poteaux ou contrefiches des étayements.

Toutes ces opérations s'exécutant au ras du sol, à hauteur d'homme, ont été plus faciles qui si elles eussent été pratiquées dans les conditions des ponts construits à l'air libre au moyen d'échafaudages assez élevés, de telle sorte que l'assemblage des fers dans la partie étayée pour laquelle on présumerait généralement une plus-value, est ressortie en réalité à un prix de revient plutôt inférieur que supérieur à celui des parties du tablier situées en dehors des étayements.

L'ensemble de l'ossature métallique, formée de dix poutres (Pl. 2, *fig.* 1, nos 10 à 19) et de neuf travées d'entretoises, ayant été assemblé au niveau inférieur figuré en traits pleins sur les coupes (Pl. 2, *fig.* 2, 3, 4), il fallait, pour l'amener à sa position définitive, élever de 0m.75 au milieu des étayements et d'un seul morceau, toute cette ossature qui représentait un poids de 550 000 kilogrammes et des dimensions de 41m.30 de largeur sur 41m.80 de longueur.

L'opération devait être conduite avec une parfaite régularité afin de ne pas déranger les étayements supportant les voies exploitées, et aussi de ne pas fatiguer les assemblages de la construction métallique par des porte-à-faux qui résulteraient d'un montage irrégulier. Elle a été exécutée en

dix heures avec un plein succès sous la direction de M. Moreaux, ingénieur de la maison Cail, et des ingénieurs de la compagnie de l'Ouest, en présence des élèves de l'École des ponts et chaussées, le 20 mars 1868. Elle a nécessité l'emploi de quatre-vingts hommes seulement et de dix vérins d'une force de 30 000 kilogrammes chacun. La *fig.* 2, Pl. 2, figure la position des vérins et des calages successifs. Les dix vérins manœuvrés chacun par huit hommes armés de leviers en fer, étaient placés d'abord à gauche et soulevaient cette extrémité de $0^m.25$. Reportés à droite, ils soulevaient l'autre extrémité d'abord de $0^m.25$ (course des vérins), puis de $0^m.25$ encore, soit en tout $0^m.50$. Revenant à gauche, on montait encore de $0^m.50$, puis à droite de $0^m.25$; en sorte qu'au moyen de quatre placements des vérins on avait franchi les $0^m.75$. Dans le mouvement élévatoire, les pièces métalliques, poutres et entretoises trouvaient à travers les charpentes des vides parfaitement aménagés et ne nécessitaient aucun déplacement des étais. Par conséquent tout se passait sans gêner ni compromettre en rien la circulation des trains sur les voies.

Le gros de l'opération du montage ayant été effectué ainsi en un jour, on s'est occupé les jours suivants de régler parfaitement le tablier métallique au niveau voulu, en le faisant reposer solidement sur le sol au moyen de quatre files de supports provisoires en charpente. Ces files de supports portaient des coins de réglage, et les vérins servaient à soulever partiellement l'ossature métallique pour faciliter ce réglage. Les traits pointillés de la *fig.* 2, Pl. 2, figurent le résultat de ces opérations.

Antérieurement à l'assemblage et au montage du grand pont, on avait, à travers la galerie large voisine de la pile, amené, chacune en une seule pièce, les poutres du viaduc de 8 mètres que l'on tournait de 90 degrés en dérangeant momentanément quelques étais, puisque l'on faisait passer par-dessus la pile basse, pour les assembler immédiatement

à leur niveau définitif avec leurs entretoises; on appuyait momentanément cette ossature métallique sur les charpentes provisoires voisines de la pile, en attendant l'élévation de cette dernière.

Les tabliers métalliques du pont et du viaduc étant ainsi assemblés et réglés à leur niveau définitif, on a pu continuer les maçonneries de la culée du grand pont et celles de la pile séparative du pont et du viaduc et placer les pierres de taille et les plaques d'appui en fonte correspondant aux extrémités des poutres de ces deux ouvrages; de telle sorte que le tablier du grand pont s'est trouvé reposant aux deux extrémités sur ses appuis définitifs (culée et pile en maçonnerie), et dans l'intervalle sur quatre files de supports provisoires en charpente.

Restait à remplacer ces supports provisoires par des colonnes en fonte qu'on devait fonder à une assez grande profondeur ($9^{m}.28$ en contrebas des longrines). Pour cela on aurait pu ouvrir à travers les étais des galeries blindées analogues à celle de la pile; mais cette opération eût été difficile, eu égard à l'apport des libages et à la mise au levage des colonnes, le tout à travers les blindages; elle eût été en tous cas coûteuse et compromettante pour la solidité des étayements supérieurs supportant les voies exploitées. Nous avons évité ces inconvénients en faisant reposer momentanément les voies, non plus sur les étayements, mais sur l'ossature métallique elle-même, laquelle reposant par ses extrémités sur la culée, en outre sur les quatre files intermédiaires de supports provisoires en charpente, permettait d'ouvrir entre ces supports de larges tranchées offrant toutes les facilités désirables pour les fouilles. les maçonneries de fondation et la mise au levage des colonnes.

§ 5. *Calage provisoire des longrines sur les fers, établissement des colonnes et construction des voûtes en briques et des chapes.* — La *fig.* 19, Pl. 3, représente la succession des opérations effectuées.

Comme les chapeaux placés sous les longrines établissaient une solidarité précieuse entre tous les éléments du plancher qui supporte les voies, on a conservé ces chapeaux le plus longtemps possible; en conséquence, on a commencé par appuyer la totalité du plancher sur des cales placées entre les fers et les chapeaux, ainsi que cela est représenté à gauche et à droite de la *fig.* 19. Cela fait, on a ouvert librement les deux grandes tranchées pour les fouilles des colonnes ; on a exécuté les maçonneries de ces colonnes et dressé celles-ci sous les poutres.

Cette dernière opération était facilitée par la présence des chariots de dilatation qui surmontent les colonnes. D'ailleurs, pour arriver à régler suivant un niveau parfaitement fixe l'appui de toutes les poutres sur toutes les têtes des colonnes, il suffisait de donner, au moyen de quelques vérins, un léger surhaussement local à l'ossature métallique, dont l'élasticité était suffisante, malgré le poids des voies qu'elle supportait, pour se prêter à ce mouvement.

Le tablier métallique se trouvant dès lors appuyé définitivement sur la culée, la pile et les colonnes, on a enlevé les quatre files de supports provisoires en charpente, et après avoir donné préalablement deux couches de peinture au minium sur les fers, on a procédé à la construction des voûtes en briques et des chapes en allant du milieu du pont vers les extrémités.

Au fur et à mesure de l'avancement des voûtes en briques et du remplissage des reins en béton, on enlevait les chapeaux et l'on calait directement les longrines sur les fers (Pl. 3, *fig.* 19).

Les chapes devaient être formées : 1° d'une couche de mortier de chaux hydraulique de $0^m.03$ d'épaisseur ; 2° d'une chape en asphalte d'une épaisseur égale exécutée en deux couches successives de $0^m.015$ chacune. Ces opérations présentaient de très-grandes difficultés, puisqu'il fallait assurer toujours les calages sous les longrines, et que

l'espace libre entre le dessus des chapes et le dessous des traverses était seulement de $0^m.70$ en moyenne; sous les longrines, il ne restait même que $0^m.35$ de vide. Voici comment on a procédé : les longrines pouvant supporter les machines avec $3^m.40$ de portée, on procédait à l'exécution des chapes par bandes transversales d'environ 3 mètres de largeur; les matières étaient approchées au moyen de petits augets roulants; le plancher correspondant à la bande de chape en construction était enlevé partiellement afin de permettre aux ouvriers courbés de se relever de temps à autre, et des gardes vigilants veillaient à la sécurité de ces ouvriers en les faisant rentrer dans leur sous-sol au moment du passage des machines.

Lorsqu'une bande de 3 mètres de largeur était finie, on reculait les derniers calages placés sur les fers en les faisant reposer sur la portion de chape exécutée; on remplissait avec du béton de ciment le vide laissé par les calages supprimés, et l'on attaquait une deuxième bande de 3 mètres, et ainsi de suite.

On donnait aux chapes des inclinaisons convenables pour assurer l'écoulement des eaux de suintement, soit vers les culées, soit vers les colonnes auprès desquelles on avait ménagé des descentes d'eau.

L'achèvement des maçonneries des culées en arrière de l'extrémité des poutres, l'enlèvement des étais et le remblai derrière ces maçonneries, ont donné lieu à des précautions analogues. (Voir Pl. 3, *fig.* 16, 17 et 18.)

Toutes les opérations que nous venons de décrire ont été d'ailleurs exécutées rapidement, savoir :

Les fouilles, les fondations et la mise en place des colonnes, en trois semaines, du 4 au 26 avril 1868.

Les voûtes en briques, les chapes et le remblai derrière les culées, en six semaines, du 10 mai au 25 juin 1868;

Le pont ayant été ainsi complétement terminé en sous-œuvre sous les voies, on a pu tout à son aise achever les

déblais restant à faire en dessous, et l'on a procédé en même temps en dessus à l'enlèvement des longrines et au rétablissement des voies.

§ 6. *Enlèvement des longrines et rétablissement des voies.* — Après avoir enlevé les madriers du plancher, on a versé du ballast entre les longrines, et on a retiré celles-ci latéralement en bourrant à leur lieu et place du ballast sous les traverses. Ensuite on a abaissé les voies par parties successives de manière à les ramener à leur niveau primitif et à faire disparaître le relèvement provisoire de $0^{m}.35$ qu'on avait dû leur donner.

Cette dernière opération a nécessité un mois, du 25 juin au 25 juillet 1868, et elle a entraîné une dépense de 10000 fr. en main-d'œuvre, plus 4500 francs en fourniture de ballast.

Tableau résumé des dépenses.

Le tableau ci-après, qui résume les principales données et les prix de revient ou plus-values à compter pour les opérations que nous venons de décrire, fournira des bases d'appréciation utiles à la discussion d'avant-projets d'ouvrages analogues.

La longueur totale des voies, en nombre variable de huit à quatorze, conservées en service, longueur comptée seulement dans l'étendue de la surface à étayer, c'est-à-dire entre les arêtes des fouilles de culées, était de 750 mètres cubes.

La surface totale étayée comprise entre lesdites arêtes des fouilles des culées et les garde-corps latéraux du plancher provisoire était de 2 025 mètres quarrés.

INDICATION des opérations successives.	DÉPENSES FAITES. Partielles.	DÉPENSES FAITES. Totales.	PRIX DE REVIENT par mètre courant de voie à étayer entre les arêtes extrêmes des fouilles	PRIX DE REVIENT par mètre quarré de surface étayée entre les arêtes extrêmes des fouilles
§ 1er. *Modification préalable des voies ferrées et pose des longrines.*				
La dépense, dont le détail a été donné précédemment, comprend le relèvement des voies sur 0m.35, les raccordements aux abords, sur 70 mètres de longueur de part et d'autre, la location et la mise en place des bois et fers pour les longrines et le plancher provisoire, enfin la fourniture du ballast et le renouvellement partiel des matériaux de la voie. .	francs. »	francs. 58 000.00	francs. 77.34	francs. 28.64
§ 2. *Étayements et déblais généraux jusqu'à 3m.80 au-dessous des longrines.*				
Bois en location pour étayements définitifs, 700 mètres cubes à 60 francs.	42 000.00			
Bois en location pour étais provisoires en premier emploi, 420 mètres cubes à 42 francs.	17 640.00			
Bois en location pour étais provisoires en deuxième emploi, 1 680 mètres cubes à 15 francs.	25 200.00	101 340.00	135.12	50.04
Plus-value sur le prix des terrassements pour tenir compte des sujétions diverses, embarras des étais, bourrage derrière les blindages, sortie à la brouette et mise en dépôt en dehors de la surface étayée, éclairage de nuit, etc., 11 000 mètres cubes à 1f.50. .	16 500.00			
§ 3. *Galeries basses pour l'édification en sous-œuvre des culées et de la pile.*				
Bois fournis, mis en place et abandonnés derrière les maçonneries, 52 mètres cubes à 90 francs..	4 680.00			
Madriers de blindage de 0m.08 fournis et abandonnés, 300 mètres quarrés à 10f.80.	3 240.00			
Bois en location pour étayements définitifs, 130 mètres cubes à 60 francs.	7 800.00			
Bois en location pour étais provisoires en premier emploi, 78 mètres cubes à 42 francs.	3 276.00	35 426.00	47.23	17.50
Bois en location pour étais provisoires en deuxième emploi, 312 mètres cubes à 15 francs.	4 680.00			
Plus-value sur le prix des terrassements pour tenir compte des sujétions diverses analogues à celles ci-dessus indiquées, 2 000 mètres cubes à 2f.50.	5 000.00			
Plus-value sur les prix de maçonneries exécutées dans les galeries basses. . . . . — Pierre de taille, 125 mètres cubes à 30 francs.	5 750.00			
Plus-value sur les prix de maçonneries exécutées dans les galeries basses. . . . . — Maçonnerie ordinaire, 600 mètres cubes à 5 francs. . . .	3 000.00			
§ 4. *Assemblage et levage du tablier métallique au milieu des étais.*				
Aucune plus-value n'a été allouée. En effet, l'assemblage des fers, exécuté à hauteur d'homme, a été moins coûteux que celui des portions de tablier extérieures aux étayements et qui ont nécessité des échafaudages. Quant au montage ultérieur de l'ensemble de l'ossature métallique à 0m.75 de hauteur pour l'amener à son niveau définitif, on a vu que cette opération n'a exigé que 10 heures, 80 hommes, 10 vérins et quelques calages provisoires en charpente.	»	»	»	»
A reporter.		194 766.00	259.69	96.18

INDICATION des opérations successives.	DÉPENSES FAITES. Partielles.	DÉPENSES FAITES. Totales.	PRIX DE REVIENT par mètre courant de voie à étayer entre les arêtes extrêmes des fouilles.	PRIX DE REVIENT par mètre quarré de surface étayée entre les arêtes extrêmes des fouilles.
	francs.	francs.	francs.	francs.
Reports.	. . . . . .	194 766.00	259.69	96.18
§ 5. *Calage provisoire des longrines sur les fers, établissement des colonnes et construction des voûtes en briques et des chapes.*				
Bois en location pour supports provisoires du tablier métallique sur le sol, pour calages entre le plancher supérieur et les fers du tablier, et pour étais provisoires destinés à permettre l'achèvement des maçonneries des culées en arrière des extrémités des poutres et le remblai derrière ces maçonneries, 125 mètres cubes à 60 francs.	7 500.00			
Main-d'œuvre pour les déplacements successifs des calages sous le plancher supérieur pendant l'exécution des voûtes en briques et des chapes en mortier et en bitume.	2 500.00			
Plus-value sur les prix ordinaires pour les ouvrages exécutés avec grande difficulté dans le très-petit espace libre qui restait entre le dessus du tablier métallique et le dessous de la charpente du plancher supportant les voies : Pour la maçonnerie des voûtes en briques, 300 mètres cubes à 6 francs.	1 800.00			
Pour le béton de remplissage des reins, 150 mètres cubes à 2 francs.	300.00	14 200.00	18.93	7.01
Pour la chape en ciment de $0^m.03$ = 1 500 mètres quarrés à $0^f.70$.	1 050.00			
Pour la chape en bitume de $0^m.03$ = 1 500 mètres quarrés à $0^f.70$.	1 050.00			
Les fouilles, les fondations et le levage des colonnes n'ont, grâce au système employé, donné lieu à aucune sujétion spéciale.	»			
§ 6. *Enlèvement des longrines et rétablissement des voies.*				
Fourniture de ballast, 1 500 mètres à 3 francs.	4 500.00			
Main-d'œuvre pour enlèvement des longrines et du plancher, rétablissement des voies sur ballast, abaissement de $0^m.35$ dans l'étendue de la surface étayée, et suppression des pente et contre-pente sur 70 mètres aux abords de part et d'autre.	10 000.00	14 500.00	19.33	7.16
A quoi il faut ajouter :				
Frais d'entretien et de surveillance spéciale des voies et des étayements pendant dix mois.				
Surveillance spéciale de jour et de nuit des voies supérieures et fourniture d'huile pour les signaux de ralentissement.	4 300.00			
Surveillance spéciale de jour et de nuit des étayements inférieurs.	4 500.00	16 800.00	22.40	8.30
Main-d'œuvre supplémentaire pour relevages des parties tassées, coinçages des charpentes, déplacements et modifications momentanées de certaines portions des étayements pour faciliter l'exécution des ouvrages métalliques et des maçonneries. . . .	8 000.00			
Dépenses totales à compter pour l'exécution de l'ensemble des opérations.		240 266.00	320.35	118.65
Soit en nombres ronds.			320.00	120.00

Pour apprécier dans un avant-projet de travaux analogues les dépenses supplémentaires qu'entraînent, en sus des prix ordinaires des ouvrages exécutés à l'air libre, les sujétions de l'établissement en sous-œuvre sous des voies exploitées, il conviendra toujours de déterminer, d'après la nature du terrain et les conditions locales, l'étendue de la surface à étayer entre les arêtes extrêmes des fouilles à faire.

On procédera ensuite à l'évaluation des divers éléments de dépenses, en les rapportant soit au mètre quarré de surface étayée, soit au mètre courant de voies comprises dans l'étendue de cette surface.

Le choix de la base unitaire la plus convenable à adopter dépendra de la comparaison à faire entre l'exemple analysé par nous et le cas particulier qu'on aura à traiter.

Dans notre exemple, les voies sont resserrées et occupent toute la surface étayée. S'il s'agissait de passer sous une voie unique, ou sous une ligne à deux voies, l'évaluation au mètre courant de voie serait préférable afin de ne pas attribuer une importance trop grande à la surface occupée par les accotements latéraux.

CHAPITRE II.

EFFETS DE DILATATION A PRÉVOIR SUR DE VASTES TABLIERS MÉTALLIQUES. — COLONNES EN FONTE LOURDEMENT CHARGÉES ET SURMONTÉES DE CHARIOTS DE ROULEMENT.

Le tablier du grand pont de 40 mètres d'ouverture sous les voies du chemin de fer de l'Ouest (Pl. 1, *fig.* 1) ayant une largeur de 91^{m}.10 le long de la culée et 125^{m}.30 le long de la pile, il fallait prévoir des effets de dilatation assez importants, soit dans le sens de la longueur des poutres, soit dans le sens de la largeur du pont. Les effets cumulés des déplacements dus à la dilatation pouvaient s'élever de 0 à 15 millimètres en allant du centre de figure aux

extrémités du tablier métallique, sous l'influence d'une variation possible de température de 50 degrés. (Ainsi en cours de construction, pendant l'été, il nous est arrivé de constater des déplacements de 5 à 8 millimètres dans le sens de la largeur ou de la longueur, pour la seule différence de température entre la nuit et le jour.) Nous avons pris le parti de fixer le centre de figure du tablier dans le sens de sa largeur en donnant des rebords latéraux aux plaques d'appui des deux poutres centrales sur la culée et sur la pile ; les autres plaques d'appui à droite et à gauche ne portent pas de rebords latéraux, en sorte que la dilatation transversale se produit librement du centre de figure vers les têtes. Quant à la dilatation longitudinale des poutres, ne pouvant lui donner un point de départ fixe vers le milieu de ces poutres puisque les colonnes ne s'y prêtaient pas, nous l'avons laissée complétement libre en lui imposant toutefois une limite fixée à 15 millimètres de part et d'autre de la situation normale moyenne; ce qui a été obtenu au moyen de rebords que portent à l'arrière toutes les plaques d'appui sur la culée et sur la pile, laissant un jeu de 15 millimètres entre le rebord et l'extrémité de chaque poutre.

Le tablier du pont sous le carrefour du boulevard Pereire et de la rue de Brémontier (Pl. I, *fig.* 13) présentait :

Une partie de 20 mètres de largeur et 60 mètres de longueur moyenne correspondant à la rue Brémontier ;

Deux parties triangulaires l'une à droite, l'autre à gauche, correspondant au boulevard Pereire et se développant, la première sur 74 mètres et la deuxième sur 30 mètres.

C'était, on le voit, une grande surface en forme d'X qui donnait lieu à des effets de dilatation importants et de direction variable.

Les déplacements cumulés pouvaient atteindre 2 ou 3 centimètres aux points extrêmes du tablier, et il y avait lieu de s'en préoccuper très-sérieusement.

Nous avons établi un point d'ancrage sur la pile en maçonnerie qui se trouve assez rapprochée du centre de figure, et qui supporte le rectangle central correspondant à la rue Brémontier. En conséquence les cinq grandes poutres de ce rectangle ont été fixées sur la pile au moyen de plaques portant des boulons d'ancrage qui traversent les semelles en tôle, la fonte des plaques, et la pierre de taille d'appui. Le parallélisme de ces cinq poutres a été assuré, en outre, au moyen de rebords latéraux que portent les plaques d'appui correspondantes sur les culées.

Quant aux parties triangulaires à droite et à gauche, leurs déplacements devaient participer à la fois d'une translation parallèle au boulevard Pereire, et d'une autre translation parallèle à la rue Brémontier provenant de la partie centrale à laquelle viennent s'attacher les portions triangulaires. Pour parer à cette double tendance dont la résultante avait une direction variable, on a établi des plaques d'appui sans aucun rebord sous les extrémités des poutres des parties triangulaires du pont à droite et à gauche du rectangle central.

Mais les deux vastes tabliers métalliques que nous venons de décrire s'appuyaient l'un et l'autre non-seulement sur des culées en maçonnerie, mais aussi sur des colonnes intermédiaires. Or ces colonnes avaient à supporter des pressions considérables atteignant pour le pont sous les voies de l'Ouest 225 000 kilogrammes et s'élevant jusqu'à 249 000 kilogrammes pour le pont Brémontier; ces charges dépassaient beaucoup les limites expérimentées dans les constructions courantes analogues; de plus, elles n'étaient pas fixes; car par suite des effets de dilatation, elles avaient une tendance à se déplacer par voie de glissement dans une direction variable sur la tête des colonnes.

En présence de l'effort vertical énorme imposé à chaque colonne, il était essentiel que les réactions horizontales pouvant résulter de la tendance au glissement fussent réduites

à une proportion insignifiante; autrement elles détermineraient dans la hauteur de la colonne entre la base et le chapiteau un effort de flexion, et certaines arêtes comprimées outre mesure seraient exposées à la rupture. Cet inconvénient se produirait infailliblement si le tablier métallique reposait simplement à frottement sur la tête de la colonne. Pour éviter tout danger, nous avons dû substituer au déplacement par voie de frottement simple, celui obtenu au moyen de chariots de roulement; et pour obéir aux effets de dilatation de direction variable, nous avons eu recours à deux chariots de roulement superposés à angle droit, qui permettent par conséquent un déplacement facile et sans efforts appréciables dans un sens quelconque.

Les *fig.* 4, 5, 6, 7 et 8, Pl. 1, rendent compte de la disposition des colonnes en fonte et des chariots de roulement. Les colonnes d'une hauteur de 5^{m}.20 ont un diamètre variable de 0^{m}.50 à 0^{m}.60 du sommet à la base, et une épaisseur moyenne de fonte de 0^{m}.06; toutes les colonnes ont été coulées debout, la tête en bas, afin d'obtenir un métal dense, exempt de soufflure et surtout de toute irrégularité dans les épaisseurs qui auraient pu résulter du déplacement dans un moule incliné. Elles s'appuient sur un large massif de fondation en béton de ciment par l'intermédiaire d'un grand libage en pierre dure de 1^{m}.75 sur 1^{m}.75, et par une embase en fonte de 1^{m}.30 sur 1^{m}.30 solidifiée par de fortes nervures. Une feuille de plomb de 15 millimètres est interposée entre l'embase en fonte et le dessus de la pierre de taille qui a été soigneusement dressé, et de forts boulons d'ancrage (Pl. 1, *fig.* 12) établissent une complète solidarité entre la fonte et la pierre. A son sommet la colonne se termine par un chapiteau quarré de 0^{m}.80 sur 0^{m}.80 qui reçoit les chariots de roulement.

Chaque chariot (*fig.* 4 et 5, Pl. 1) est composé de quinze rouleaux en fer recoupés latéralement à 0^{m}.04 de largeur,

parfaitement tournés dans leurs parties circulaires, et ayant $0^m.08$ de diamètre et $0^m.718$ de longueur.

Les quinze rouleaux sont interposés entre des plaques de fonte parfaitement dressées et ils sont rendus solidaires en haut et en bas par des bielles en fer se reliant aux extrémités des rouleaux au moyen de petits goujons. Ces bielles, dont l'écartement est maintenu par des entretoises en fer rond réunissant leurs extrémités, forment de part et d'autre de l'ensemble des quinze rouleaux un parallélogramme articulé qui oblige les rouleaux à s'incliner tous ensemble à droite ou à gauche de la verticale. Le déplacement horizontal possible de la plaque de friction reposant sur les rouleaux est de $0^m.02$ à droite ou à gauche de la position médiane; il en résulte un déplacement total possible de $0^m.04$ correspondant aux écarts maxima de température.

En supposant que le contact entre la partie circulaire d'un rouleau et chaque plaque de friction en fonte ait lieu sur 1 degré, la surface d'appui évaluée en millimètres quarrée est de :

$$\frac{\pi . D}{360^\circ} \times l = \frac{3.14 \times 80}{360} \times 718 = 501^{mmq} \text{ pour un rouleau,}$$

$$\text{et pour 15 rouleaux} \quad 501 \times 15 = 7515^{mmq}.$$

La pression supportée par une colonne du pont sous les voies de l'Ouest étant de 225 000 kilogrammes sous la surcharge d'épreuve et de 140 000 kilogrammes sous la charge permanente seule, les efforts par millimètre quarré de l'arête de contact d'un rouleau seront respectivement de $29^k.94$ et de $18^k.63$.

Or il résulte d'expériences faites par M. Moreaux, ingénieur de la maison Cail et compagnie, sur un chariot formé de deux rouleaux en fer de $0^m.08$ de diamètre et de $0^m.10$ de longueur, que sous une charge de $16^k.50$ par millimètre quarré de contact supposé sur 1 degré, il n'y a aucune trace d'altération des surfaces, et qu'il suffit d'un effort

horizontal de $1^k.80$ par 1 000 kilogrammes de charge verticale, pour déterminer le mouvement au départ, et de $1^k.50$ par 1 000 kilogrammes pour l'entretenir.

Il faut aller jusqu'à 40 ou 43 kilogrammes par millimètre quarré de contact pour que l'altération des surfaces soit appréciable à l'œil ; et cette altération même est si peu de chose qu'il suffit encore de $4^k.50$ par 1 000 kilogrammes pour déterminer le mouvement horizontal au départ.

D'après cela, l'effort horizontal que le déplacement du tablier métallique, par l'effet de la dilatation, pourra exercer sur la tête d'une colonne du pont sous les voies de l'Ouest, ne dépassera pas $1^k.80 \times 140^t = 252$ kilogrammes sous la charge permanente, et $1^k.80 \times 225^t = 405$ kilogrammes sous l'influence des plus fortes surcharges accidentelles.

On voit donc bien que nos chariots de roulement réduisent à une proportion tout à fait insigifiante les efforts horizontaux qui peuvent agir sur la tête des colonnes et que celles-ci ne sont exposées de ce fait à aucun travail appréciable par flexion.

Sous l'influence de la charge verticale supposée égale à 225 000 kilogrammes, les colonnes ayant une section pleine minima de 94 248 millimètres quarrés, travailleront à

$$\frac{225\,000}{94\,248} = 2^k.39 \text{ par millimètre quarré.}$$

L'embase inférieure d'appui sur la pierre présentant une surface de 15 100 centimètres quarrés donnera lieu à une pression sur la pierre de taille de 15 kilogrammes par centimètre quarré.

Le libage ayant lui-même $1^m.75$ sur $1^m.75$, soit 3 mètres quarrés de surface, transmettra au béton une pression de $7^k.70$ par centimètre quarré. Et celui-ci présentant un empatement de $0^m.50$ tout autour du libage fournira

une surface d'appui sur le sol de $7^{mq}.50$, correspondant à $3^{k}.10$ par centimètre quarré sur le terrain.

Les considérations dans lesquelles nous venons d'entrer au sujet des colonnes du pont sous les voies de l'Ouest, s'appliquent à la majeure partie des quinze colonnes qui supportent le pont sous le carrefour de la rue Brémontier et du boulevard Pereire. En conséquence, onze de ces colonnes ont été exécutées en fonte, avec chariot de roulement en fer comme celles du pont sous les voies de l'Ouest.

Mais pour les quatre autres marquées (*a*) sur la *fig.* 5, Pl. 1, les calculs indiquaient des pressions plus considérables s'élevant jusqu'à 249 000 kilogrammes sous la surcharge d'épreuve. Et comme ces quatre colonnes occupaient des positions très-importantes au point de vue de la stabilité de l'ouvrage, comme d'ailleurs la répartition effective des charges pouvait, dans une construction aussi compliquée, différer notablement des résultats indiqués par les calculs, les constructeurs, MM. Gouin et compagnie, nous ont exprimé les craintes les plus sérieuses au sujet de ces colonnes exceptionnellement chargées et exposées en outre aux efforts transversaux pouvant résulter des effets assez considérables à attendre de la dilatation. Malgré la précaution prise de couler les colonnes debout, malgré l'établissement de chariots de dilatation, on pouvait craindre, disaient les constructeurs, un défaut caché dans le métal, un obstacle empêchant les chariots de dilatation de fonctionner. Nous avons fait droit à ces préoccupations en substituant l'acier Bessemer martelé au fer et à la fonte qui compose les chariots de roulement ordinaires, et en remplaçant la colonne creuse en fonte par un faisceau de cylindres pleins en fer enveloppé d'une chemise de fonte qui reproduit à l'œil le type courant (Pl. 1, *fig.* 9, 10 et 11).

Six cylindres pleins en fer de $0^{m}.15$ de diamètre et de $4^{m}.86$ de hauteur sont disposés hexagonalement autour d'un septième cylindre central. Tous sont serrés et mis en

contact invariable au moyen de neuf frettes en fer posées à chaud et espacées d'environ $0^m.50$. Le faisceau ainsi formé est interposé par l'intermédiaire de feuilles de plomb de $0^m.004$ entre une embase et un chapiteau en fonte analogues à ceux des colonues ordinaires. Et il est assujetti en haut et en bas au moyen de cales en fer placées dans les cavités de l'embase et du chapiteau.

Sous la charge maxima de 249 000 kilogrammes, le fer dont la section est de $\pi \times \overline{0.075}^2 \times 7$, travaille à $2^k.01$ par millimètre quarré.

La surface de contact des rouleaux supposée sur 1 degré étant $\frac{2\pi \times 0.04}{360°} \times 715 \times 14 = 6986$ millimètres quarrés. l'effort maximum correspondant à la charge de 249 000 kilogrammes sera de $35^k.6$, chiffre qui n'a rien d'inquiétant eu égard aux considérations développées précédemment et à la nature spéciale du métal qui est ici de l'acier martelé.

Il a été alloué aux constructeurs :

1° Pour couler debout les colonnes en fonte une plus-value de $1^f.20$ par 100 kilogrammes ;

2° Pour les rouleaux, bielles et entretoises en fer entrant dans la composition des chariots de roulement, un prix total de $0^f.68$ le kilogramme ;

3° Pour l'acier Bessemer raboté ou tourné employé pour les plaques et les rouleaux des chariots correspondants aux quatre colonnes spéciales en fer, un prix total de $1^f.50$ le kilogramme.

CHAPITRE III.

CONSIDÉRATIONS PRATIQUES SUR LE MODE DE CALCULS ET SUR LE RÉSULTAT DES ÉPREUVES DES FERS DES TABLIERS; EXPÉRIENCES SUR L'ÉCRASEMENT DES BRIQUES DES VOUTES.

Les ouvrages métalliques de notre chemin de fer de raccordement, principalement le pont sous le carrefour du boulevard Pereire et de la rue Brémontier, ont donné lieu à des calculs très-compliqués ; nous nous bornerons ici à rappeler les données qui ont servi de base à ces calculs et les résultats constatés par les épreuves.

1° *Pont de 40 mètres et viaduc de 8 mètres sous les voies de l'Ouest* (Pl. 1, *fig.* 1). — Nous devions nous conformer aux conditions prescrites par la circulaire ministérielle du 26 février 1858, relative aux épreuves des ponts métalliques supportant des voies de fer. En conséquence, nous avons supposé une surcharge de 5 000 kilogrammes par mètre courant sur toutes les voies qui passent d'une part sur le pont, d'autre part sur le viaduc. Répartissant ensuite la surcharge totale sur la surface correspondante à chacun des deux ouvrages, nous avons trouvé par mètre quarré 1 100 kilogrammes d'une part et 1 300 kilogrammes de l'autre ; d'où nous avons déduit les chiffres de la surcharge par mètre courant de poutre intermédiaire courante, qui sont :

5 000 kilogrammes pour le pont de 40 mètres,
et 3 000 kilogrammes pour le viaduc de 8 mètres.

Les poids morts correspondants par mètre courant de poutre ont été trouvés respectivement égaux à 7 900 et 4 000 kilogrammes.

Nous avons calculé les poutres du pont de 40 mètres d'après les formules de Bellanger pour les poutres à trois

travées, en les supposant successivement surchargées, et les maxima des moments fléchissants ainsi obtenus, comparés aux moments résistants des sections correspondantes des poutres, ont fait ressortir que le travail maximum du fer par millimètre quarré restait compris entre 5k,500 et 6 kilogrammes.

Calculant ensuite les efforts tranchants qui s'exercent sur les âmes verticales en treillis, et qui vont en se cumulant du point de plus grande flexion situé vers le milieu de la portée de la poutre jusqu'aux appuis, et mettant en regard les sections correspondantes données aux barres du treillis et celles données aux rivets pour transmettre les efforts, nous avons établi que le fer des barres travaille à environ 5 kilogrammes et celui des rivets à environ 6 kilogrammes par millimètre quarré.

Les entretoises ont été calculées en supposant une surcharge de 6 000 kilogrammes pour chaque roue de machine, soit 12 000 kilogrammes par essieu; et il a été établi que, pour la position la plus défavorable de cette surcharge, le fer ne travaille qu'à 5k,400.

Pour ce qui regarde la poutre de rive oblique de 50m,80 de longueur, sur laquelle viennent s'attacher les extrémités de six poutres intermédiaires, constituant ainsi des poids fixes isolés en sus de la charge courante uniformément répartie, nous avons, par application des théorèmes connus, calculé séparément les moments fléchissants et les efforts tranchants, d'abord pour les poids fixes isolés, ensuite pour la charge uniformément répartie, et la somme algébrique des résultats obtenus dans les deux calculs séparés nous a donné les moments fléchissants et les efforts tranchants totaux, lesquels correspondaient à des efforts par millimètre quarré inférieurs à 6 kilogrammes.

Les calculs ont été plus simples pour le viaduc de 8 mètres, et nous ont conduits à la même constatation.

Le pont de 40 mètres et le viaduc de 8 mètres ayant été

construits sous le passage incessant des machines depuis le commencement jusqu'à la fin, il devenait inutile de procéder aux épreuves spéciales prescrites par la circulaire ministérielle du 26 février 1858.

Du reste, la solidarité établie par les entretoises très-rapprochées et par les voûtes en briques, entre toutes les parties du tablier, donne à toute la construction un caractère de stabilité absolue, et le passage d'un train ne produit pas de flexion appréciable sur les poutres correspondantes.

2° *Pont sous le carrefour des rues Pereire et Brémontier* (Pl. 1, *fig.* 3). — Nous devions nous conformer à la circulaire ministérielle du 15 juin 1869 relative aux ponts métalliques destinés aux voies de terre ; et comme il s'agissait d'un ouvrage situé dans Paris, il fallait supposer comme poids roulant un rouleau de 16 tonnes, chiffre fixé par la décision ministérielle du 23 juillet 1869.

En raison des dispositions très-compliquées de l'ouvrage à construire, nous nous serions lancés dans des calculs inextricables si nous avions voulu, en ce qui concerne les grandes poutres à plusieurs appuis, considérer séparément pour chacune d'elles la charge permanente, la surcharge uniformément répartie de 400 kilogrammes par mètre quarré, enfin la surcharge résultant des poids roulants.

Mais il est facile de s'assurer que, eu égard à la grande portée des poutres et à leur espacement qui est de 5 mètres, un poids roulant de 16 tonnes isolé doit exercer moins d'influence que la surcharge de 400 kilogrammes uniformément répartie par mètre quarré ; nous pouvions donc nous borner à considérer seulement cette dernière surcharge, dont nous avons toutefois forcé le chiffre de 400 kilogrammes, en le portant pour plus de garantie à 500 kilogrammes par mètre quarré de chaussée (trottoirs compris) ; nous avons ainsi obtenu :

	kilog.
Pour le poids de la construction par mètre courant de poutre.	6500
pour la surcharge uniformément répartie par mètre courant de poutre.	2500
Poids total par mètre courant de poutre.	9000

Enfin, toujours en vue de simplifier et eu égard à ce fait que la surcharge est faible comparativement au poids de la construction, nous n'avons envisagé qu'une seule hypothèse : toutes les travées surchargées. Nous avons ainsi été amenés à ne considérer qu'une charge constante de 9000 kilogrammes uniformément répartie par mètre courant de poutre; et les formules de Bellanger pour les poutres à une, deux, trois ou quatre travées nous ont permis de calculer assez facilement pour toutes les poutres courantes les moments fléchissants, les efforts tranchants et par suite le travail par millimètre quarré du fer des semelles et des treillis.

Mais pour les poutres de rive de la partie centrale auxquelles viennent s'attacher les poutres des parties triangulaires à droite et à gauche, nous avions à envisager des poutres à quatre ou cinq travées soumises à la fois à des poids isolés et à une charge uniformément répartie : ici, de même que pour la poutre de rive du pont de 40 mètres, nous avons calculé séparément les moments fléchissants et les efforts tranchants résultant : 1° des poids isolés; 2° de la charge uniformément répartie; en faisant ensuite la somme algébrique des résultats obtenus. Nous avons en outre simplifié la première partie du calcul en envisageant seulement les travées qui renferment les poids isolés et celles qui sont immédiatement contiguës, abstraction faite des suivantes; ce qui nous a réduits dans le cas particulier, à considérer seulement des poutres à trois travées, et nous a donné, malgré cela, une approximation suffisante, attendu que, d'après un théorème connu, dans les poutres à plusieurs appuis, l'influence de la charge qui agit sur une travée est encore sen-

sible dans la travée contiguë, très-notablement affaiblie dans la travée suivante, et enfin à peu près nulle dans celle qui vient après.

Ces calculs, très-laborieux malgré les simplifications ainsi opérées, ont démontré que les fers des semelles et ceux des barres et des rivets des treillis ne travaillaient pas à plus de 4 ou 5 kilogrammes par millimètre quarré.

Les entretoises ont été calculées en supposant une surcharge égale au poids d'un des cylindres du rouleau compresseur, soit 8 000 kilogrammes, placé dans la situation la plus défavorable, au milieu de l'entretoise, et il a été établi que le travail du fer ne dépassait pas 4k.62 par millimètre quarré.

Les épreuves, faites d'abord sous une surcharge de sable uniformément répartie, ensuite sous des poids roulants formés de trois rouleaux compresseurs marchant côte à côte ou les uns derrière les autres, n'ont produit dans les poutres que des flèches de 3 ou 4 millimètres au plus.

3° *Pont sous le carrefour d'Asnières* (Pl. 1, *fig.* 2, 13 et 14). — Les calculs se présentaient ici sous une forme plus simple et plus usuelle, et les résultats de ces calculs, comparés à ceux des épreuves, ont donné lieu à quelques constatations intéressantes, dont nous allons dire ici quelques mots.

Le tablier du pont est formé d'une série de quarante-trois poutres métalliques, de 16 mètres de portée, espacées de 2m.50 d'axe en axe, et réunies par des entretoises distantes entre elles de 1m.79. (Voir Pl. 1, *fig.* 13 et 14.) Ces entretoises supportent des voûtes en briques et mortier de ciment; les reins sont remplis en béton, et le tout est recouvert par une chape en bitume imperméable, au-dessus de laquelle on a établi une chaussée pavée ou d'empierrement.

Le poids mort de la construction, correspondant à un mètre courant de poutre, est de 4 000 kilogrammes.

Il est facile de voir que l'influence d'une surcharge de

4000 kilogrammes par mètre quarré produira un effet moindre que celle d'un cylindre compresseur de 16 tonnes placé au milieu de la portée de 16 mètres. Ce cylindre, étant formé de deux rouleaux de 8 tonnes distants entre eux de 3 mètres, correspond à un poids unique de 13 000 kilogrammes qui serait placé au milieu de la poutre.

Le moment fléchissant maximum est donné par la formule

$$M = \frac{p . l^2}{8} + \frac{P . l}{4} = \frac{4\,000 \times 16^2}{8} + \frac{13\,000 \times 16}{4} = 180\,000^{\text{km}}.$$

La poutre ayant au milieu $0^{\text{m}}.80$ de hauteur hors cornières et six semelles de $0^{\text{m}}.01$ en haut et en bas, le moment d'inertie calculé est $I = 0.013350$, et l'effort maximum théorique ressort à $6^{\text{k}},26$ par millimètre quarré.

La flèche théorique f sera, en appelant E le coefficient d'élasticité dont la valeur peut varier entre 12 000 000 000 et 20 000 000 000 donnée par la formule

$$Ef = \frac{l^3}{48}\left[P + \frac{5}{8} p . l\right] = 4\,522\,649,$$

d'où l'on déduit :

$f = 28$ millimètres si $E = 12\,000\,000\,000$,

ou 17 millimètres si $E = 20\,000\,000\,000$.

Mais la flèche réelle observée dans les épreuves est restée bien au-dessous de ces flèches théoriques, ce qui tient à la solidarité que les files d'entretoises et les voûtes en briques établissent entre toutes les poutres du pont. Cette solidarité, rendue sensible à première vue par ce fait que le passage d'une simple charrette imprime au tablier une vibration qui se fait sentir à 50 mètres de distance de part et d'autre, a été mise en évidence d'une manière très-frappante par les épreuves auxquelles nous avons procédé.

Trois rouleaux compresseurs de 16 tonnes ont été placés côte à côte sur les milieux de trois poutres voisines et ont séjourné douze heures. En numérotant 0, 1 et 1′, les poutres qui supportent directement les rouleaux 2, 3, 4, 5..... et 2′, 3′, 4′, 5′....., les poutres successives situées à droite et à gauche, on a constaté les flèches indiquées au tableau ci-après :

Numéros des poutres.	5′	4′	3′	2′	1′	0	1	2	3	4	5	6	7
Flèches en millimètres.	0.0	0.2	1.0	2.0	3.2	4.0	3.7	2.7	1.2	0.7	0.5	0.2	0.0

Ce tableau met en évidence la répartition de charge qui s'opère par voie de transmission sur les poutres contiguës aux trois poutres qui supportent directement les rouleaux, et l'on voit que les flèches réelles prises par ces trois poutres restent inférieures au quart des plus petites flèches théoriques calculées. On peut en conclure que le travail effectif des fers par millimètre quarré doit rester bien au-dessous du chiffre de 6k.200 donné par le calcul théorique appliqué à une poutre considérée isolément.

Ainsi, la solidarité que les entretoises et les voûtes en briques établissent entre toutes les parties du tablier a pour effet de le transformer en une véritable planche rigide; quand un poids isolé se présente sur un point de cette planche, la charge se répartit dans tous les sens, et par suite l'ensemble de la construction est apte à supporter sans inconvénient des poids roulants bien supérieurs à ceux qu'indiquent les calculs appliqués à une poutre isolée.

Cela constitue un des mérites particuliers du système de tablier métallique avec voûtes en briques. On obtient, en outre, l'avantage d'une durée à peu près illimitée; car en ayant soin de compléter la construction par une bonne chape en asphalte impérméable recouvrant à la fois les voûtes et les fers du tablier, on met ceux-ci à l'abri de l'humidité et l'on assure parfaitement leur conservation. A tous ces points de vue, nous croyons que le système de

tabliers métalliques avec voûtes en briques se recommande d'une manière toute spéciale aux constructeurs.

L'emploi de rouleaux compresseurs à vapeur et le passage des roues de charrettes lourdement chargées appelaient notre attention sur la résistance à l'écrasement que les briques creuses qu'on emploie généralement dans la construction des voûtes des tabliers métalliques doivent présenter à un degré suffisant.

M. Tresca, sous-directeur du Conservatoire des arts et métiers, a bien voulu, sur notre demande, expérimenter l'écrasement au moyen de la presse hydraulique, non pas de simples briques isolées, mais de prismes de maçonnerie où les matériaux se trouvaient dans des conditions comparables à celles des voûtes de nos ponts. Ces prismes avaient une section de 0m.22 sur 0m.22, ou 0m.33 sur 0m.33, et leur hauteur de 0m.51 ou 0m.46 était formée d'assises de briques posées à plat et reliées par du mortier de ciment.

Les résultats des expériences sont consignés dans le tableau ci-après :

NATURE et provenance de la brique creuse.	NATURE et âge du mortier.	DIMENSIONS des blocs à écraser.	SECTION totale.	SECTION pleine des cloisons non compris les joints verticaux en mortier.	POIDS qui a produit l'écrasement.	EFFORT par centimètre quarré correspondant à l'écrasement — de la section totale.	EFFORT … — de la section pleine des cloisons.	OBSERVATIONS.
				Première série d'expériences sur des prismes de $\frac{0^m.22}{0^m.22}$				
			centim. q.	centim. q.	kilog.	kilog.	kilog.	
Brique de Bourgogne. (Villenavotte.)	2 de sable, 1 de ciment de Portland. Âge 17 jours.	$0^m.22$ sur $0^m.22$ et $0^m.51$ de hauteur.	484	160	9 105	19.00	57.00	Une 1re fissure s'est manifestée sous 3 856k
			—	—	17 510	36.00	110.00	— 10 850k
Brique Müller d'Ivry.	—	—	—	175	28 540	59.00	163.00	— non constatée
—	—	—	—	—	35 370	73.00	202.00	— 23 366k
				Moyenne.		47.00	133.00	
				Deuxième série d'expériences sur des prismes de $\frac{0^m.34}{0^m.34}$				
Brique de Bourgogne. (Villenavotte.)	—	$0^m.34$ sur $0^m.34$ et $0^m.46$ de hauteur.	1 176	383	20 602	17.50	54.00	— 20 136k
			—	—	44 125	37.50	115.00	— 28 763k
Brique Müller d'Ivry.	—	—	1 176	428	42 000	35.70	100.00	— 22 237k
—	—	—	—	—	51 746	44.00	122.30	— 43 364k
				Moyenne.		34.00	97.08	

La Pl. 1, fig. 15 et 16, figure la coupe d'une brique creuse de Bourgogne ou de Müller.

On remarque que la section horizontale pleine des cloisons (non compris les joints en mortier) est le tiers environ de la section totale du prisme, et que la résistance à l'écrasement par centimètre quarré ($97^k.088$ ou 133^k) n'est pas supérieure à celle que présenterait la brique pleine ordinaire de Bourgogne bien cuite. Or la brique creuse présente, par rapport à la brique pleine, un vide égal à un tiers. Mais la section pleine horizontale est diminuée des deux tiers; par conséquent, en employant la brique creuse au lieu de la brique pleine, on allége le pont d'un tiers au plus; mais on diminue la résistance à l'écrasement de deux tiers.

Il faudrait conclure du raisonnement qui précède que l'emploi de la brique creuse dans les voûtes des tabliers des ponts-routes qui sont exposées aux pressions de charges locales considérables, n'est pas très-rationnel, et que la brique pleine serait préférable, sauf à réduire l'épaisseur des voûtes en adoptant par exemple un seul anneau de $0^m.15$, au lieu de deux anneaux superposés de $0^m.23$. Mais on peut, en pratique, objecter à ce raisonnement que, eu égard aux malfaçons possibles dans l'exécution des maçonneries, les deux anneaux superposés donnent plus de garantie, et que sous l'influence d'une forte charge, la courbe des pressions se maintient plus sûrement dans l'intérieur d'une voûte qui présente une épaisseur plus considérable.

C'est à l'ingénieur qu'il appartiendra, dans chaque cas particulier, de fixer son choix d'après celui des deux ordres de considération qui lui paraîtra avoir le plus d'importance, eu égard à l'ouverture des voûtes, à leur flèche, aux circonstances locales; mais dans tous les cas, il ne devra pas perdre de vue que le passage des lourdes charrettes peut imposer aux briques des efforts voisins de ceux qui

aboutissent à l'écrasement, et que pour éviter tout danger il est indispensable de maintenir toujours au-dessus des voûtes une épaisseur de chaussée formant un matelas suffisant pour répartir la pression locale d'une jante de roue sur une surface assez considérable.

CHAPITRE IV.

OBSERVATION SUR LE PRIX DE REVIENT DE LA CONSTRUCTION DE PONTS AVEC TABLIERS MÉTALLIQUES ET VOUTES EN BRIQUES DE DIMENSIONS ET DE FORMES VARIÉES.

Les quatre grands ouvrages métalliques établis sur notre chemin de fer de raccordement ont été construits dans un système uniforme : poutres métalliques reposant sur des culées en maçonnerie, réunies par des entretoises et des voûtes en briques creuses et mortier de ciment de $0^m.22$ d'épaisseur, le tout recouvert par une solide chape en asphalte. La hauteur libre sous les poutres était, pour tous, comprise entre $4^m.80$ er 5 mètres, et leurs fondations se présentaient dans des conditions courantes, soit avec $0^m.80$ de profondeur moyenne.

Mais ces quatre ouvrages offraient les types les plus variés au point de vue de leurs ouvertures, qui s'élevaient de 8 à 16, à 40 et même à 74 mètres, avec ou sans colonnes intermédiaires, et au point de vue de leurs formes qui passaient des plus simples aux plus compliquées. Nous indiquons ci-après pour chacun d'eux les dispositions principales et le calcul de la surface couverte comprise entre les parements vus des culées et le bord extérieur des poutres de tête.

1° *Pont de 40 mètres sous les voies de l'Ouest* (Pl. 1, *fig.* 1). — Il couvre un vaste trapèze de 40 mètres d'ou-

verture ayant $91^{m}.10$ le long du parement vu de la culée et $125^{m}.30$ le long de la pile.

La surface couverte est donc :

$$\frac{91^{m}.10 + 125^{m}.30}{2} \times 40^{m}.00 = 4328 \text{ mètres quarrés.}$$

2° *Viaduc de* 8 *mètres sous les voies de l'Ouest* (Pl. 1, *fig.* 1). — Il couvre aussi un long trapèze ayant 8 mètres d'ouverture et se développant sur $126^{m}.90$ le long du parement vu de la pile et sur $133^{m}.50$ le long de la culée.

La surface couverte est donc :

$$\frac{126^{m}.90 + 133^{m}.50}{2} \times 8^{m}.00 = 1042 \text{ mètres quarrés.}$$

3° *Pont de* 16 *mètres sous le carrefour de la porte d'Asnières* (Pl. 1, *fig.* 2). — C'est un grand rectangle de 105 mètres de développement.

La surface couverte comprise entre les parements vus des culées est donc :

$$105^{m}.00 \times 16^{m}.00 = 1680 \text{ mètres quarrés.}$$

4° *Pont sous le carrefour du boulevard Pereire et de la rue Brémontier* (Pl. 1, *fig.* 3). — Ce pont, de forme très-compliquée et dont les supports ont dû être répartis d'une manière très-irrégulière, est formé d'un long trapèze central correspondant à la rue Brémontier et sur lequel viennent s'attacher deux portions de forme à peu près triangulaire qui correspondent au boulevard Pereire et qui se développent l'une à droite sur $74^{m}.40$, l'autre à gauche sur $30^{m}.10$.

La surface couverte peut être estimée comme il suit :

Trapèze central entre les parements vus des culées :

$\frac{62^m.70 + 51^m.70}{2} \times 20^m.65 = \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$	m. q. 1181
Partie triangulaire à droite, surface calculée.	1 170
Id. à gauche.	249
Surface totale couverte.	2600

Nous allons donner dans les tableaux ci-après le résumé des dépenses faites pour chacun de ces quatre ouvrages, en faisant abstraction pour les deux premiers des dépenses spéciales afférentes à la construction en sous-œuvre sous les voies ferrées en exploitation, lesquelles ont été analysées précédemment. De ces tableaux nous déduirons le prix de revient de chaque ouvrage rapporté au mètre quarré de surface couverte, et nous en tirerons des considérations pratiques intéressantes pour l'évaluation d'avant-projets d'ouvrages analogues.

1° Pont de 40 mètres sous les voies de l'Ouest.

	QUANTITÉS.	PRIX.	DÉPENSES.	DÉPENSES totales.
Maçonneries.				
(Comprenant seulement la demi-pile séparative du viaduc de 8 mètres.)				
Maçonnerie hydraulique en moellons bruts pour fondation et remplissage.	1 531^{mc}	francs. 22.00	francs. 33 682.00	
Maçonnerie hydraulique en meulière piquée pour parements.	307	24.50	7 521.50	
Béton avec mortier de ciment pour fondations des colonnes.	380	37.00	14 060.00	
Maçonnerie de libages avec ciment pour fondation des colonnes.	116	110.00	12 760.00	
Maçonnerie hydraulique en pierre de taille de Château-Landon, pour chaînes, cordons et pierres d'appui des poutres.	455	115.00	62 825.00	
Parements vus de meulière piquée.	937^{mq}	10.00	9 370.00	
Parements vus de pierre de taille.	1 273	13.00	16 549.00	
Rejointoiements, refouillements divers pour scellements.	»	»	1 621.00	
Maçonnerie de briques creuses de Bourgogne avec mortier de ciment pour voûtes de 0^{m}.22 d'épaisseur (y compris les cintres).	939^{mc}	73.00	68 547.00	
Béton avec mortier de ciment pour sommiers d'appui des voûtes sur les entretoises en fer.	60	45.00	2 700.00	
Rejointoiement du parement vu des voûtes.	3 820^{mq}	1.60	6 112.00	
Béton avec mortier de chaux pour remplissage des reins.	500^{mc}	20.00	10 000.00	
Chape en mortier de chaux de 0^{m}.03 d'épaisseur.	4 670^{mq}	1.25	5 837.50	
Chape en asphalte de 0^{m}.03 exécutée en deux couches successives de 0^{m}.15.	4 670	10.05	46 933.50	
Drainages et tuyaux de descente pour assurer l'écoulement des eaux.	»	»	6 158.50	
Dépenses diverses pour scellements, reprise de portions de maçonnerie, etc.	»	»	15 673.00	francs.
Dépense totale pour les maçonneries.	. . . . . .	. . . . .	. . . .	307 850
Partie métallique.				
Fers et tôles assemblés et posés (y compris une couche de peinture au minium).	1 384 700^{k}	0.58	803 126.00	
Fers tournés pour rouleaux, bielles et entretoises des chariots de dilatation.	27 620	0.68	18 781.60	
Fonte pour colonnes.	256 300	0.27	69 201.00	
Plus-value pour couler les colonnes debout.	256 300	0.012	3075.60	
Fonte rabotée pour plaques d'appui des culées et des chariots de dilatation.	65 000	0.44	28 600.00	
Plomb employé en feuille sous les colonnes et les plaques d'appui, ou en scellements.	15 760	0.87	13 711.20	
Peinture comprenant une deuxième couche de minium et deux couches de gris.	»	»	13 610.00	
Dépenses diverses pour travaux accessoires.	»	»	2 041.00	
Dépense totale pour la partie métallique.	. . . . . .	. . . . .	. . . .	952 150
Total général des dépenses pour le pont de 40 mètres.	. . . . . .	. . . . .	. . . .	1 260 000
S'il y avait une deuxième culée de 2^{m}.25 à la place de la demi-pile de 0^{m}.75, le cube de maçonnerie en moellons bruts augmenterait de 1^{m}.50 × 7^{m} × 126^{m} = 1 323^{mc} qui à 22 francs donneraient en sus.	»	»	»	29 106
Et le total général s'élèverait à.	. . . . . .	. . . . .	. . . .	1 289 106

2° Viaduc de 8 mètres sous les voies de l'Ouest.

	QUANTITÉS.	PRIX.	DÉPENSES	DÉPENSES totales.
Maçonneries.				
(Comprenant seulement la demi-pile séparative du pont de 40 mètres.)		francs.	francs.	
Maçonnerie hydraulique en moellons bruts pour fondation et remplissage.	2 167^{mc}	22.00	47 674.00	
Maçonnerie hydraulique en meulière smillée pour parements.	521	24.50	12 764.50	
Maçonnerie hydraulique en pierre de taille de Château-Landon pour appuis des poutres, pilastres, etc.	109	115.00	12 535.00	
Parements vus de moellons smillés.	1 590^{mq}	5.50	8 745.00	
Parements vus de pierre de taille.	409	13.00	5 317.90	
Rejointoiements, refouillements divers pour scellements.	»	»	1 215.00	
Maçonnerie de briques creuses de Bourgogne avec mortier de ciment pour voûtes de 0^m.22 d'épaisseur (y compris les cintres)	245^{mc}	73.00	17 885.00	
Béton avec mortier de ciment pour sommiers d'appui des voûtes sur les entretoises en fer.	14	45.00	630.00	
Rejointoiement du parement vu des voûtes.	1 012^{mq}	1.60	1 619.20	
Béton avec mortier de chaux pour remplissage des reins.	93^{mc}	20.00	1 860.00	
Chape en mortier de chaux de 0^m.03 d'épaisseur. . .	1 240^{mq}	1.20	1 550.00	
Chape en asphalte de 0^m.03, exécutée en deux couches successives de 0^m.015.	1 240	10.05	12 462.00	
Dépenses diverses pour scellements, reprise de portions de maçonnerie, etc.	»	»	1 703.30	
Dépense totale pour les maçonneries. . . .	. . . . . .	. . . .	. . . . . .	125 960
Partie métallique.				
Fers et tôles assemblés et posés (y compris une couche de peinture au minium).	236 400^k	0.58	137 112.00	
Fonte rabotée pour plaques d'appui des poutres. . .	7 900	0.44	3 476.00	
Plomb employé en feuilles sous les plaques d'appui ou en scellement.	3 000	0.88	2 640.00	
Peinture comprenant une deuxième couche de minium et deux couches de gris.	»	»	2 782.00	
Dépense totale pour la partie métallique. . .	. . . . . .	. . . .	. . . . . .	146 010
Total général des dépenses pour le viaduc de 8 mètres.	. . . . . .	. . . .	. . . . . .	271 970
S'il y avait une deuxième culée de 2^m.25 à la place de la demi-pile de 0^m.75, le cube de la maçonnerie de moellons bruts augmenterait de 1^m.50 × 7^m,00 × 126^m.00 = 1 323^{mc}.00 qui à 22 francs donneraient en sus.	»	»	»	29 106
Et le total général s'élèverait à.	. . . . . .	. . . .	. . . . . .	301 076

3° Pont de 16 mètres sous le carrefour de la porte d'Asnières.

	QUANTITÉS.	PRIX.	DÉPENSES.	DÉPENSES totales.
Maçonneries.		francs.	francs.	
Maçonnerie hydraulique en moellons bruts pour fondation et remplissage.	2 763^{mc}	22.00	60 786.00	
Maçonnerie hydraulique en meulière piquée pour parements.	348	24.50	10 731.00	

Suite du tableau précédent.

	QUANTITÉS.	PRIX.	DÉPENSES.	DÉPENSES totales.
		francs.	francs.	
Maçonnerie hydraulique en pierre de taille de Lorraine pour chaînes, pilastres et cordon.	68^{mc}	103.00	7 004.00	
Maçonnerie hydraulique en pierre de Château-Landon pour appuis des poutres.	41	120.00	4 920.00	
Parements vus de meulière piquée.	1 339^{mq}	10.00	13 390.00	
Parements vus de pierre de taille de Lorraine.	235	7.00	1 645.00	
Parements vus de pierre de taille de Château-Landon.	268	13.00	3 484.00	
Rejointoiements ; refouillements divers pour scellements.	»	»	1 128.00	
Maçonnerie de briques creuses de Bourgogne avec mortier de ciment pour voûtes de 0^m.22 d'épaisseur (y compris les cintres).	404^{mc}	73.00	29 493.00	
Béton avec mortier de ciment pour sommiers d'appui des voûtes sur les entretoises en fer.	40	45.00	1 800.00	
Rejointoiement du parement vu des voûtes.	1 684^{mq}	1.60	2 694.40	
Béton avec mortier de ciment pour remplissage des reins.	141	45.00	6 345.00	
Chape de 0^m.03 d'épaisseur en mortier de ciment.	1 980	4.75	9 405.00	
Chape en asphalte de 0^m.015 par-dessus.	1 980	6.05	11 979.00	
Dépenses diverses pour étayement des parois des fouilles pendant l'exécution des maçonneries et travaux accessoires.	»	»	4 026.60	francs.
Dépense totale pour les maçonneries.	......	....	......	168 330
Partie métallique.				
Fers et tôles assemblés et posés (y compris une couche de peinture au minium).	526 700^k	0.53	279 151.00	
Fers travaillés et limés pour garde-corps.	1 560	1.00	1 560.00	
Fonte rabotée pour plaques d'appui des poutres.	9 400	0.44	4 136.00	
Plomb employé en feuille sous les plaques d'appui ou en scellements.	5 900	0.88	5 192.00	
Peinture comprenant une deuxième couche de minium et deux couches de gris.	»	»	2 808.00	
Dépenses diverses pour travaux accessoires.	»	»	1 473.00	
Dépense totale pour la partie métallique.	......	....	......	294 320
Total général des dépenses pour le pont de 16 mètres.	......	....	......	463 150

4° Pont sous le carrefour des rues Brémontier et Pereire.

	QUANTITÉS.	PRIX.	DÉPENSES.	DÉPENSES totales.
Maçonneries.				
		francs.	francs.	
Maçonnerie hydraulique en moellons bruts pour fondation et remplissage.	2 627^{mc}	22.00	57 794.00	
Maçonnerie hydraulique en meulière piquée pour parements.	452	24.50	11 074.00	
Béton avec mortier de ciment pour massifs de fondation sous les colonnes.	176	37.00	6 512.00	
Maçonnerie de libages avec mortier de ciment pour massifs de fondation sous les colonnes.	37	110.00	4 070.00	
Maçonnerie hydraulique en pierre de taille de Lorraine pour chaînes, pilastres et cordons.	255	103.00	26 265.00	
Maçonnerie de ciment en pierre de taille de Château-Landon pour appuis des poutres.	35	120.00	4 200.00	
Parements vus de meulière piquée.	1 440^{mq}	10.00	14 400.00	

Suite du tableau précédent.

	QUANTITÉS.	PRIX.	DÉPENSES	DÉPENSES totales.
		francs.	francs.	
Parements vus de pierre de taille de Lorraine. . . .	592^{mq}	7.00	4 144.00	
Parements vus de pierre de taille de Château-Landon.	232	13.00	3 016.00	
Rejointoiements ; refouillements divers pour scellements.	»	»	2 022.00	
Maçonneries de briques creuses de Bourgogne avec mortier de ciment pour voûtes de 0m.22 d'épaisseur (y compris les cintres).	402^{mc}	73.00	29 346.00	
Maçonneries de briques pleines pour voûtes de 0m.11 sous les trottoirs.	78	79.00	6 162.00	
Béton avec mortier de ciment pour sommiers d'appui des voûtes sur les entretoises en fer.	43	45.00	1 935.00	
Rejointoiement du parement vu des voûtes.	2270^{mq}	1.60	3 632.00	
Béton avec mortier de chaux pour remplissage des reins.	356^{mc}	20.00	7 120.00	
Chape de 0m.02 d'épaisseur en mortier de ciment. . .	2230^{mq}	2.50	5 575.00	
Chape en asphalte de 0m.015 d'épaisseur sous les chaussées.	2040	6.05	12 342.00	
Chape en asphalte de 0m.010 d'épaisseur sous les trottoirs.	680	4.20	2 856.00	
Dépenses diverses pour scellements, étayements des parois des fouilles pendant l'exécution des maçonneries et travaux accessoires.	»	»	4 035.00	francs.
Dépense totale pour les maçonneries.	. . . . . .	. . . .	. . . . . .	296 500
Partie métallique.				
Fers et tôles assemblés et posés (y compris une couche de peinture au minium).	$984\,500^{k}$	0.59	580 855.00	
Fers tournés pour rouleaux, bielles et entretoises des chariots de dilatation sur les colonnes en fonte. . .	6 860	0.68	4 664.80	
Acier tourné ou raboté pour rouleaux et plaques des chariots sur les colonnes spéciales en fer.	4 220	1.50	6 330.00	
Fonte pour colonnes.	60 200	0.27	16 254.00	
Plus-value pour couler les colonnes debout.	60 200	0.012	722.40	
Fonte rabotée pour plaques d'appui des culées et des chariots de dilatation sur les colonnes en fonte. . .	48 200	0.44	21 208.00	
Plomb employé en feuille sous les colonnes et les plaques d'appui ou en scellements.	9 020	0.88	7 937.60	
Peinture comprenant une deuxième couche de minium et deux couches de gris.	»	»	11 160.00	
Dépenses diverses pour travaux accessoires.	»	»	448.20	
Dépense totale pour la partie métallique. . .	. . . . . .	. . . .	. . . . . .	649 580
Total général des dépenses pour le pont Brémontier.	. . . . . .	. . . .	. . . . . .	856 080

En rapprochant les chiffres des dépenses de ceux des surfaces couvertes mesurées entre les parements vus des culées, nous trouvons les prix de revient ci-après par mètre quarré de surface couverte :

1° Pont de 40 mètres sous les voies de l'Ouest, supposé compris entre deux culées ordinaires :

$$\frac{1\,289\,106^{fr}}{4328^{mq}} = 297^{f}.80 ;$$

2° Viaduc de 8 mètres sous les voies de l'Ouest, supposé compris entre deux culées ordinaires :

$$\frac{301\,076^{f}}{1\,042^{mq}} = 288^{f}.90;$$

3° Pont de 16 mètres sous le carrefour de la porte d'Asnières :

$$\frac{463\,150^{f}}{1\,680^{mq}} = 275^{f}70;$$

4° Pont sous le carrefour des rues Brémontier et Pereire :

$$\frac{856\,080^{f}}{2\,600^{mq}} = 329^{f}.26.$$

Il faut remarquer que le deuxième et le troisième ouvrage présentent des développements en largeur ($130^{m}.25$ pour le deuxième, 105 mètres pour le troisième) qui sont énormes par rapport à leurs ouvertures respectives de 8 mètres et 16 mètres. Si, dans le but de se rapprocher des conditions ordinaires qu'on rencontre en pratique, on les supposait fractionnés chacun en une série d'éléments séparés de 10 mètres environ de largeur, la dépense s'augmenterait pour chacun des éléments d'une somme correspondante à la substitution de deux poutres de tête surmontées de leurs garde-corps à une poutre intermédiaire courante, savoir ;

Pour le viaduc de 8 mètres :

Une poutre de tête pesant les deux-tiers d'une poutre intermédiaire, l'excédant sera :

Poids d'une demi-poutre intermédiaire $\frac{2\,800^{k}}{2}$ à $0^{f}.58$ =	812	francs. 2 332
Garde-corps : $8^{m} \times 2^{m} = 16^{m}$ à 45f le mèt. ..	720	
Chaînes d'angle en pierre de taille.......	800	

Pour le pont de 16 mètres.

Excédant égal au poids d'une demi-poutre intermédiaire $\frac{10\,000^k}{2}$ à . . . . $0^f.53 =$	2 650	francs. 5 290
Garde corps : $16^m \times 2 = 32^m$ à 45^f le mèt.	1 440	
Chaînes d'angle en pierre de taille.	1 200	

La dépense totale du viaduc de 8 mètres supposé décomposé en treize éléments séparés, deviendrait donc :

$$301\,076^f + 2\,332 \times 12 = 329\,060^f.$$

Celle du pont de 16 mètres, supposé décomposé en dix éléments distincts, deviendrait de même :

$$463\,150 + 5\,290^f \times 9 = 510\,760^f.$$

Mais les surfaces couvertes s'augmenteront en même temps d'une quantité correspondante aux demi-largeurs des deux poutres de tête qui termineront chaque élément séparé, savoir :

Pour le viaduc $2 \times 0^m.20 \times 8^m.00 = 3^{mq}.20$,
Pour le pont $2 \times 0^m.20 \times 16^m.00 = 6^{mq}.40$.

Les surfaces totales couvertes mesurées entre les bords extérieurs des poutres de tête, deviendront donc respectivement :

Pour le viaduc : $1\,042^{mq} + 3^{mq}.20 \times 12 = 1\,080^{mq}.40$,
Pour le pont : $1\,680^{mq} + 6^{mq}.40 \times 9 = 1\,737^{mq}.60$.

Par conséquent, le prix de revient de ces ouvrages supposés ramenés à une largeur ordinaire de 10 mètres serait :

Pour un viaduc de 8^m d'ouverture : $\frac{329\,060^f}{1\,080.40} = 304^f.60$,

Pour un pont de 16^m d'ouverture : $\frac{510\,760^f}{1\,737.60} = 293^f.90$.

La grande largeur moyenne ($108^m.20$) de notre pont de 40 mètres est également hors de proportion avec les con-

ditions ordinaires de la pratique, et l'on se rapprocherait davantage de ces conditions en supposant cette énorme largeur fractionnée par portions d'environ 20 mètres, ce qui correspondrait à la moyenne que représente le quatrième ouvrage (pont Brémontier-Pereire).

Le fractionnement en 5 ponts séparés d'environ 10 mètres donnerait lieu pour chacun à un excédant de dépense qu'on peut évaluer comme il suit :

	francs.
Substitution à une poutre intermédiaire de deux poutres de tête (celles-ci pesant ensemble une fois et demie celle-là), soit un excédant de poids égal à $\frac{32\,000^k}{2}$, qui à $0^f.58$ donne	9 280
Deux colonnes en plus avec leurs chariots de dilatation.	3 000
Garde-corps $45^f \times 40^m \times 2^m$	3 600
Chaînes d'angle en pierre de taille	1 200
Excédant de dépense à compter	17 080

En même temps la surface couverte s'augmentera de la demi-largeur des poutres de tête ajoutées, soit de

$$2 \times 0^m.30 \times 40^m = 24^{mq}.$$

La dépense totale deviendra donc :

$$1\,289\,106^f + 17\,080^f \times 4 = 1\,357\,426^f,$$

La surface couverte correspondante sera :

$$4328^{mq} + 24^{mq} \times 4 = 4424^{mq},$$

et le prix de revient par mètre quarré de surface couverte ressortira à

$$\frac{1\,357\,426^f}{4424} = 306^f.80.$$

De la discussion qui précède on peut conclure que, dans le système de construction uniforme que nous avons adopté (tablier métallique avec voûtes en briques) et dans les conditions où nous étions placés (fondations ordinaires de

0m.80 d'épaisseur et hauteur sous poutres variant de 4m.80 à 5 mètres), le prix de revient de la construction comprenant les maçonneries et la partie métallique (abstraction faite du déblai qu'il convient d'évaluer séparément dans chaque cas particulier) ressort par mètre quarré de surface couverte aux chiffres suivants pour des ouvrages d'ouverture et de dispositions très-variées, savoir :

Viaduc de 8 mètres d'ouverture sur environ 10 mètres de largeur, supportant une couche de ballast de 0m.60 et une surcharge de 5 000 kilogrammes par mètre courant de voie :

304f.60 par mètre quarré.

Pont de 16 mètres d'ouverture sur environ 10 mètres de largeur supportant une chaussée empierrée ou pavée de 0m.35 d'épaisseur, et la surcharge de rouleaux compresseurs de 16 tonnes.

293f.90 par mètre quarré.

Pont de 40 mètres d'ouverture avec deux files de colonnes intermédiaires et d'une largeur d'environ 20 mètres supportant une couche de ballast de 0m.60 et une surcharge de 5 000 kilogrammes par mètre courant de voie :

306f.80 par mètre quarré.

Pont de forme très-compliquée reposant sur des culées et des colonnes irrégulièrement disposées, présentant une largeur moyenne d'environ 20 mètres et supportant une chaussée de 0m.35 d'épaisseur et la surcharge de rouleaux compresseurs de 16 tonnes :

329f.30 par mètre quarré.

On voit que tous ces prix de revient oscillent autour du chiffre de 300 francs par mètre quarré. Les différences en plus ou en moins correspondent précisément au plus ou moins de charge par mètre quarré imposée au tablier. Ainsi le viaduc de 8 mètres et le pont de 40 mètres supportant une épaisseur de ballast de 0m.60 et la surcharge d'un

essieu de locomotive de 12 tonnes, tandis que le pont de 16 mètres ne supporte que 0m.35 d'épaisseur de chaussée et un cylindre de rouleau compresseur de 8 tonnes. Ce dernier ouvrage supporte donc une charge égale aux deux tiers environ de celle imposée aux deux autres, et l'on peut dire que si les trois ouvrages étaient chargés également, leur prix de revient par mètre quarré serait à peu près le même et égal à 300 francs.

Quant au quatrième pont, dont les formes sont très-compliquées et dont les supports (colonnes et maçonneries) sont disposés d'une façon extrêmement irrégulière, son prix de revient par mètre quarré ne dépasse cependant le chiffre moyen que d'un dixième.

Cet excédant, motivé par les formes extraordinairement compliquées du quatrième ouvrage, est de nature à confirmer plutôt qu'à infirmer la règle expérimentale approximative que nous formulerons comme il suit :

Pour les ponts ou viaducs à construire avec poutres métalliques reliées par des entretoises en fer et des voûtes en briques, le tout recouvert d'une solide chape en asphalte, les fondations se présentant dans des conditions ordinaires (0m.80 de profondeur) et la hauteur libre sous poutres étant de 4m.80 à 5 mètres, on obtiendra une évaluation approximative très-convenable des dépenses à faire pour les maçonneries et les fers, quelles que soient l'ouverture et la disposition des supports, pourvu toutefois que celle-ci ne soit pas extraordinairement compliquée, en mesurant simplement la surface couverte comprise entre les parements vus des culées et les bords extérieurs des poutres de tête et appliquant à la surface ainsi mesurée un coefficient de 300 francs par mètre quarré.

Il faudra en sus tenir compte de la dépense à faire pour les déblais qui seront calculés à part dans chaque cas particulier. S'il y avait en dehors des épaisseurs des culées

$0^{m}.80$ d'épaisseur et hauteur sous poutres variant de $4^{m}.80$ à 5 mètres), le prix de revient de la construction comprenant les maçonneries et la partie métallique (abstraction faite du déblai qu'il convient d'évaluer séparément dans chaque cas particulier) ressort par mètre quarré de surface couverte aux chiffres suivants pour des ouvrages d'ouverture et de dispositions très variées, savoir :

Viaduc de 8 mètres d'ouverture sur environ 10 mètres de largeur, supportant une couche de ballast de $0^{m}.60$ et une surcharge de 5 000 kilogrammes par mètre courant de voie :

$304^{f}.60$ par mètre quarré.

Pont de 16 mètres d'ouverture sur environ 10 mètres de largeur supportant une chaussée empierrée ou pavée de $0^{m}.35$ d'épaisseur, et la surcharge de rouleaux compresseurs de 16 tonnes.

$293^{f}.90$ par mètre quarré.

Pont de 40 mètres d'ouverture avec deux files de colonnes intermédiaires et d'une largeur d'environ 20 mètres supportant une couche de ballast de $0^{m}.60$ et une surcharge de 5 000 kilogrammes par mètre courant de voie :

$306^{f}.80$ par mètre quarré.

Pont de forme très compliquée reposant sur des culées et des colonnes irrégulièrement disposées, présentant une largeur moyenne d'environ 20 mètres et supportant une chaussée de $0^{m}.35$ d'épaisseur et la surcharge de rouleaux compresseurs de 16 tonnes :

$329^{f}.30$ par mètre quarré.

On voit que tous ces prix de revient oscillent autour du chiffre de 300 francs par mètre quarré. Les différences en plus ou en moins correspondent précisément au plus ou moins de charge par mètre quarré imposée au tablier. Ainsi le viaduc de 8 mètres et le pont de 40 mètres supportant une épaisseur de ballast de $0^{m}.60$ et la surcharge d'un

essieu de locomotive de 12 tonnes, tandis que le pont de 16 mètres ne supporte que 0m.35 d'épaisseur de chaussée et un cylindre de rouleau compresseur de 8 tonnes. Ce dernier ouvrage supporte donc une charge égale aux deux tiers environ de celle imposée aux deux autres, et l'on peut dire que si les trois ouvrages étaient chargés également, leur prix de revient par mètre quarré serait à peu près le même et égal à 300 francs.

Quant au quatrième pont, dont les formes sont très-compliquées et dont les supports (colonnes et maçonneries) sont disposés d'une façon extrêmement irrégulière, son prix de revient par mètre quarré ne dépasse cependant le chiffre moyen que d'un dixième.

Cet excédant, motivé par les formes extraordinairement compliquées du quatrième ouvrage, est de nature à confirmer plutôt qu'à infirmer la règle expérimentale approximative que nous formulerons comme il suit :

Pour les ponts ou viaducs à construire avec poutres métalliques reliées par des entretoises en fer et des voûtes en briques, le tout recouvert d'une solide chape en asphalte, les fondations se présentant dans des conditions ordinaires (0m.80 *de profondeur*) *et la hauteur libre sous poutres étant de* 4m.80 *à* 5 *mètres, on obtiendra une évaluation approximative très-convenable des dépenses à faire pour les maçonneries et les fers, quelles que soient l'ouverture et la disposition des supports, pourvu toutefois que celle-ci ne soit pas extraordinairement compliquée, en mesurant simplement la surface couverte comprise entre les parements vus des culées et les bords extérieurs des poutres de tête et appliquant à la surface ainsi mesurée un coefficient de* 300 *francs par mètre quarré.*

Il faudra en sus tenir compte de la dépense à faire pour les déblais qui seront calculés à part dans chaque cas particulier. S'il y avait en dehors des épaisseurs des culées

des portions de murs en aile ou en retour importantes relativement à l'ensemble de l'ouvrage principal, il faudrait aussi les évaluer à part et en sus. Il en serait de même pour les fondations exceptionnelles qui pourraient être nécessaires en sus de l'épaisseur ordinaire de $0^m.80$, et en général pour toutes sujétions spéciales que pourrait présenter l'ouvrage à construire en dehors des conditions ordinaires des ouvrages courants.

S'il s'agit des sujétions résultant de la construction en sous-œuvre sous des voies ferrées en exploitation, nous les avons analysées en détail dans le chapitre Ier de cette note, et nous avons fait voir qu'on peut évaluer l'exédant de dépense à raison soit de 320 francs par mètre courant de voie ferrée comprise entre les arêtes extrêmes du déblai à faire, soit de 120 francs par mètre quarré de la surface à étayer.

Nous n'entendons pas évidemment attribuer à ces règles expérimentales d'autre caractère que celui d'indications approximatives applicables à des évaluations sommaires pour de simples avant-projets. Mais la discussion détaillée que nous avons faite des éléments du prix de revient des ouvrages particuliers décrits par nous, pourra, croyons-nous, fournir des renseignements utiles, soit pour établir le détail estimatif d'ouvrages analogues, soit pour discuter des évaluations semblables entre les compagnies de chemins de fer, d'une part, et l'État, les départements ou les communes, d'autre part.

C'est dans cet esprit et en faisant toutes réserves au sujet de l'application des données recueillies par nous à des cas qui ne seraient pas absolument semblables, que nous livrons à l'appréciation des ingénieurs des observations qui ont un caractère purement expérimental et qui devront servir plutôt à des comparaisons raisonnées qu'à une généralisation qui pourrait être dangereuse parce qu'elle ne s'appuierait sur aucune théorie.

Paris, le 20 juin 1871.

N° 3

BULLETIN DES EXPLOSIONS D'APPAREILS A VAPEUR

ARRIVÉES PENDANT LES ANNÉES 1868 ET 1869.

DATE de l'explosion.	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé. — *P.* — Nom du propriétaire de l'appareil. *C.* — Nom du constructeur de l'appareil.	NATURE, forme et destination de l'appareil. — Détails divers.	CIRCONSTANCES de l'explosion.	SUITES de l'explosion.	CAUSE PRÉSUMÉE de l'explosion.
1868 9 juin.	Distillerie à Besançon. *P.* MM. Bugnat, Colladon et comp.	Appareil de rectification en tôle, à fond plat, chauffé par un serpentin où la température de la vapeur d'eau s'élevait à 250 degrés environ. — Hauteur = 2m,80 : — Diamètre = 3m,34 ; — Epaisseur des cornières de raccordement qui se sont déchirées = 8 millim.	La chaudière avait été laissée complétement fermée. Elle a éclaté sous la pression qu'ont acquise les vapeurs d'alcool chauffées par un serpentin à 250 degrés. La déchirure a eu lieu suivant la rivure de la cornière qui réunit le fond plat inférieur avec la partie cylindrique. Tout l'appareil, sauf le fond qui est resté en place, a été projeté à 25 mètres de distance, après avoir enfoncé un mur de 0m,40 d'épaisseur. Les vapeurs d'alcool se sont enflammées au contact d'un foyer voisin.	Sept personnes tuées ou mortes des suites de leurs blessures. Incendie de l'établissement.	Incurie du contre-maître de l'établissement qui a laissé fermé le tuyau de dégagement des vapeurs d'alcool.

(*) Annexe à l'état de 1868. — (Cet accident n'a pas figuré dans l'état général pour 1868, parce qu'il n'a été porté à la connaissance de la commission qu'après la rédaction de cet état.

RÉSUMÉ RECTIFIÉ.

Nombre total d'explosions. 24

Nombre de victimes. { Tués ou morts des suites de leurs blessures. 31
Blessés. 33

RÉPARTITION DES ACCIDENTS.

Par nature d'établissements.

Usines métallurgiques (aciérie). 1
Mines. 1
Bateaux remorqueurs. 1
Ateliers mettant en œuvre le coton, la laine et le lin. 6
Sucreries et distilleries. 3
Papeteries. 2
Fabriques diverses. 10

Par nature d'appareils.

Chaudières cylindriques horizontales avec ou sans bouilleurs. 11
Chaudières cylindriques horizontales à foyer intérieur, non tubulaires. 3
Chaudière cylindrique horizontale à foyer intérieur, tubulaire. 1
Chaudière cylindrique verticale. 1
Divers. (Récipients de vapeur 4, appareil de rectification 1, tuyau de conduite 1, appareil réchauffeur 1, etc.). 8

D'après les causes qui les ont occasionnés.

Défaut de surveillance ou négligence des propriétaires ou agents chargés de l'entretien ou de la conduite de l'appareil. . 19
Circonstances fortuites ou concours de circonstances diverses. 2
Causes indéterminées. 3

2° Explosions d'appareils à vapeur arrivées pendant l'année 1869.

DATE de l'explosion.	NATURE et situation de l'établissement ou l'appareil était placé. — *P.* — Nom du propriétaire de l'appareil. *C.* — Nom du constructeur de l'appareil.	NATURE, forme et destination de l'appareil. — Détails divers.	CIRCONSTANCES de l'explosion.	SUITES de l'explosion.	CAUSE PRÉSUMÉE de l'explosion.
1869 22 février.	Usine à fer, à Ars-sur-Moselle. *P.* MM. Karcher et Westermann;	Chaudière cylindrique à un seul bouilleur, chauffée par les flammes perdues d'un four à puddler. — Les flammes arrivaient directement sur la partie inférieure du corps cylindrique. — Diamètre = 1m,20; — Longueur = 7m,80; — Capacité = 11 mètre cubes; — Épaisseur = 11 millim.; — Timbre = 4 1/2.	La virole antérieure du corps cylindrique, sur laquelle arrivaient les flammes du four, a rougi à sa partie inférieure, et s'est entièrement détachée de la chaudière; elle a été projetée à 13 mètres de distance. Le reste de la chaudière a reculé de 2 mètres environ en arrière.	Douze ouvriers brûlés par l'eau et la vapeur ou atteints par les projections de l'explosion; trois sont morts.	Incurie de l'ouvrier chargé de l'alimentation, qui a laissé le corps cylindrique se vider entièrement d'eau et la tôle du coup de feu rougir. Il n'a pû être déterminé si l'explosion est due à une alimentation intempestive, faite alors que la chaudière était dans cet état.
23 février.	Fabrique de chapeaux, au Mans. *P.* M. Lonchamp.	Table à feutrer en fonte, creuse, chauffée par la vapeur produite par une chaudière fonctionnant à 5 kilog.; — Longueur = 3m,80; — Largeur = 0m,50; — Flèche du segment = 0m,12; — Fond plat, — Épaisseur = 18 millim.	Le tuyau de dégagement de la vapeur hors de la table ayant été laissé fermé, la table a éclaté sous la pression de la vapeur, qui devait atteindre à peu près celle à laquelle travaillait la chaudière génératrice. Déchirure du font plat en un grand nombre de morceaux, et projection de ses débris.	Une ouvrière tuée. Une ouvrière grièvement blessée.	Incurie de l'ouvrière chargée d'ouvrir le robinet de dégagement de la vapeur hors de la table, et qui l'a laissé fermé.
24 février.	Drague fonctionnant dans le port de Brest. *P.* M. Le Tessier de Launay. *C.* Nillus, au Havre.	Chaudière tubulaire de la forme ordinaire des chaudières marines, c'est-à-dire avec foyer intérieur et retour de flamme tubulaire à la partie supérieure. — [illegible]	L'explosion a eu lieu au moment de la mise en marche, le robinet d'extraction venant d'être fermé, après avoir été ouvert trop longtemps. [illegible]	Le mécanicien et trois matelots tués. La drague, coupée en deux, a coulé; son porteur a également sombré.	Incurie du mécanicien, qui, en négligeant de fermer le robinet d'extraction, a laissé le niveau de l'eau descendre en dessous de parois frappées directement par les flammes du [illegible]

		raissait suffisamment consolidé. — Longueur = 3 mètres ; — Hauteur = 2m,40 ; — Diamètre supérieur = 1m,50 ; — Timbre = 4k,5 ; — Épaisseur des tôles du corps cylindrique = 14 millim., fonctionnait depuis 1861.	extérieure latérale, presque tous les tubes et une grande partie de la face d'avant se sont détachés du reste de l'appareil, et ont été projetés au loin.		Au moment de la mise en marche, la pression ayant diminué dans la chaudière, l'eau qu'elle contenait encore aura jailli tumultueusement sur des parois surchauffées et aura déterminé l'explosion.
25 février.	Bateau à lessive, à Lyon. *P.* Mme Ve Blandon. *C.* M. Chevallier.	Chaudière tubulaire à foyer amovible, à tubes recourbés, en cuivre rouge. — Dimensions d'un tube : Développement total = 3m,10 ; — Diamètre = 0m,08 ; — Épaisseur = 2mm,5 ; — Timbre = 3k,5. L'appareil fonctionnait depuis 1861.	Un des tubes s'est déchiré à son origine, près de la plaque de la boîte à feu, et s'est aplati sur une longueur de 0m,40. Le métal à la déchirure avait à peine un demi-millimètre d'épaisseur. L'eau et la vapeur de la chaudière sont sorties par l'orifice de ce tube.	Le chauffeur et trois autres personnes grièvement brûlés par l'eau et la vapeur sorties de la chaudière. Dégâts matériels peu importants.	Imprudence du propriétaire qui a continué à faire fonctionner, sans les avoir vérifiés, des tubes sur l'usure desquels son attention eût dû être éveillée, en raison du remplacement de plusieurs tubes semblables, qu'il avait fait opérer plusieurs mois auparavant.
7 mars.	Atelier de lustrage de peaux, à Ivry. *P.* M. Moyadon. *C.* MM. Buderoux.	Chaudière cylindrique à deux bouilleurs. — Surface de chauffe = 25 mètres quarrés. — Dimensions du bouilleur éclaté : Diamètre = 0m,60 ; — Longueur = 4m,76 ; — Épaisseur = 10mm,5 ; — Timbre = 6 kilog. — *L'appareil manquait de tube indicateur du niveau de l'eau.*	Un des bouilleurs s'est rompu longitudinalement au coup de feu, sur une longueur de 1 mètre environ. L'explosion a eu lieu au moment de l'ouverture du robinet d'admission de la vapeur.	Un ouvrier, par hasard près de la chaudière au moment de l'explosion, mort des suites de ses brûlures. Dégâts matériels peu importants.	Incurie du chauffeur, qui a laissé l'un des bouilleurs se vider d'eau au-dessous du niveau frappé directement par les flammes du foyer. Au moment de l'ouverture du robinet d'extraction, la pression ayant diminué dans la chaudière, l'eau que le bouilleur contenait encore aura jailli tumultueusement sur ces parois surchauffées et aura déterminé l'explosion.
17 mars.	Fabrique de caoutchouc à Aubervilliers près Paris. *P.* Le sieur du Bisson.	Récipient cylindrique en tôle destiné à vulcaniser le caoutchouc, en communication avec une chaudière fonctionnant à 5 kilog. Ce récipient avait un de ses fonds mobile. La fermeture était obtenue par le serrage de 32 boulons.	La communication avec la chaudière génératrice ayant été ouverte, quand la moitié seulement des boulons avait été serrée, ceux-ci ont cédé, et le couvercle a été projeté à distance.	Un surveillant légèrement atteint par des fragments, blessé.	Incurie du surveillant, qui, en ne serrant que la moitié des boulons, les a fait travailler à une tension à laquelle leur section ne leur permettait pas de résister, et a produit ainsi leur rupture.

DATE de l'explosion.	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé. — *P.* — Nom du propriétaire de l'appareil. *C.* — Nom du constructeur de l'appareil.	NATURE, forme et destination de l'appareil. — Détails divers.	CIRCONSTANCES de l'explosion.	SUITES de l'explosion.	CAUSE PRÉSUMÉE de l'explosion.
1869 23 mars.	Scierie, au bois Jacquemart, commune de Champigneul (Ardennes). *P.* M. Estoclet.	Locomobile de la force de 8 chevaux. — Diamètre $= 0^m,75$; — Longueur $= 3^m,50$; — Capacité $= 1^{mc},400$; — Timbre = 6 kilog. Chaudière ancienne qui avait appartenu à plusieurs propriétaires.	La boîte à feu extérieure a commencé à se déchirer suivant une ligne de rivets longitudinale *qui fuyait depuis plusieurs jours.* La chaudière s'est divisée en un grand nombre de fragments qui ont été projetés au loin. La machine était au repos au moment de l'explosion.	Le chauffeur et deux ouvriers tués. Dégâts matériels importants.	Imprudence du propriétaire qui a fait fonctionner une chaudière qui présentait des avaries déjà anciennes, lesquelles se sont développées peu à peu jusqu'à ce que l'explosion se soit produite. Le métal était très-aigre.
26 mars.	Machine locomotive à voyageurs, n° 15. Gare de Strasbourg. *P.* Compagnie de l'Est. *C.* L'Expansion.	Locomotive à roues libres en service depuis 18 ans. — Corps cylindrique : Diamètre $= 0^m,95$; — Longueur $= 3^m,76$; — Surface de chauffe = 63 mètres quarrés; — Capacité $= 2^{mc},500$; — Timbre = 8 kilog.; — Épaisseur = 10 millim.; — Date de la dernière épreuve, 1864.	La locomotive venait de s'atteler à son train, quand la virole d'avant du corps cylindrique s'est déchirée suivant une ligne de clouure longitudinale qui était déjà en partie fendue. L'anneau s'est ensuite presque totalement séparé de la chaudière, et la feuille supérieure a été projetée à quelque distance de la machine.	Dégâts matériels sans importance.	L'explosion est due à un commencement de rupture qui, à raison du feutre et du bois dont la tôle était couverte, n'avait pu être aperçu, et qui s'est développé peu à peu jusqu'à ce que l'explosion se soit produite dans des circonstances de pression habituelles. Le métal paraissait de bonne qualité.
19 avril.	Établissement des eaux à Choisy-le-Roi (Seine).	Chaudière cylindrique à deux bouilleurs alimentant une machine de 40 chevaux : — Timbre 5 kilog.; — Surface de chauffe $= 47^{mq},80$; — Capacité = 20 mètres cubes; — Établie en 1868. [illegible]	Un des bouilleurs s'est déchiré au coup de feu sur une longueur de $1^m,25$ environ, et a donné issue à toute la vapeur contenue dans la chaudière.	Le mécanicien, atteint par la vapeur et la projection des débris du fourneau, mort des suites de ses blessures. Dégâts matériels peu [illegible]	Imprudence du mécanicien, qui a fait alimenter alors que les bouilleurs étaient presque vides, et que leurs parois étaient à une température élevée. [illegible]

	main - Lespinasse (Loire). *C.* Del, à Vierzon.	boîte à feu et tubes intérieurs); Force: 3 à 4 chevaux; — Timbre = 6 kil.; — En activité depuis 1867.	ments, dont plusieurs ont été projetés à grande distance.		papes, a fait monter la pression de la vapeur de manière à faire éclater la chaudière, dont le métal devait d'ailleurs être aigre et cassant.
14 sept.	Battage du blé; commune d'Authezat (Puy-de-Dôme). *P.* Bonnoure, mécanicien à Issoire. *C.* Gérard, à Vierzon.	Locomobile, forme ordinaire (corps cylindrique; boîte à feu et tubes intérieurs); Force : 4 chevaux; — Capacité = $0^{mc},463$; — Surface de chauffe = $6^{mq},50$; — Timbre = 6 kilog.	L'explosion a eu lieu pendant un repos de la machine, 20 minutes après un rechargement du feu. La feuille qui raccorde la boîte à feu extérieure avec le corps cylindrique s'est déchirée en pleine tôle, suivant une circonférence complète. La boîte à feu a été lancée à 45 mètres en avant; le corps de la chaudière avec les tubes à 60 mètres en arrière.	Le chauffeur gravement brûlé par la vapeur.	Vice de construction, et surtout négligence du propriétaire. La tôle qui s'est déchirée était de mauvaise qualité. En outre, par suite du mauvais état du manomètre et des balances des soupapes, la pression s'est élevée au-dessus de la pression normale de marche.
22 octobre.	Fabrique de sucre à Annapes (Nord). *P.* M. Lessens.	Chaudière cylindrique à deux bouilleurs faisant partie d'une batterie de cinq chaudières.	La chaudière ayant été laissée sans alimentation pendant la plus grande partie de la journée, les bouilleurs ont rougi, et l'un d'eux s'est ouvert au coup de feu sur une longueur de $0^{m},52$ et une largeur de $0^{m},04$. La vapeur de la chaudière et d'une partie des chaudières voisines a fait irruption par cette ouverture.	Dégâts matériels sans importance.	Négligence du chauffeur qui a laissé la chaudière manquer absolument d'eau, et du propriétaire qui a fait fonctionner ses chaudières sans tube indicateur du niveau de l'eau, avec des flotteurs mal réglés.
27 octobre.	Moulin à farine à Saverne (Bas-Rhin). *P.* Ortlr. *C.* Somme (Nancy).	Chaudière cylindrique verticale, traversée par un tube intérieur en tôle. — Dimension du tube: Longueur = $6^{m},82$; — Diamètre = $0^{m},45$; — Epaisseur = 6 millim.; — Timbre = 5 kilog.; — Mise en activité le 12 octobre 1869.	L'explosion a eu lieu au moment où le travail allait commencer. Le tube central a cédé sous la pression de marche; il s'est aplati et déchiré sur presque toute sa longueur. La chaudière a été soulevée et légèrement déplacée.	Le contre-maître de l'usine, le chauffeur et un ouvrier, morts, brûlés par la vapeur et l'eau sorties de la chaudière. Un ouvrier grièvement blessé. Dégâts matériels peu importants.	Vice de construction. Le tube central avait une épaisseur trop faible pour la pression normale qu'il devait supporter.

DATE de l'explosion.	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé. — P. — Nom du propriétaire de l'appareil. C. — Nom du constructeur de l'appareil.	NATURE, forme et destination de l'appareil. — Détails divers.	CIRCONSTANCES de l'explosion.	SUITES de l'explosion.	CAUSE PRÉSUMÉE de l'explosion.
1869 8 nov.	Fabrique de cartons à la Villette, Paris. *P.* MM. Richard et Cie.	Cylindre sécheur en fonte dont les fonds sont formés de plateaux également en fonte assujettis au pourtour du cylindre au moyen de six vis. — Diamètre = 0m,77; — Diamètre des vis = 18 millim. Ce cylindre communiquait avec un générateur où la pression s'élevait à 6 kil. Il n'était pas timbré et n'avait pas été éprouvé.	Quelques minutes après l'introduction de la vapeur et sous l'action d'une pression à très-peu près égale à celle de la chaudière, une ou plusieurs des vis du fond ont cédé; leur arrachement a déterminé la rupture et la projection de ce fond. Le reste du cylindre a été projeté en sens contraire.	Deux ouvriers atteints par les éclats du cylindre : un tué, un gravement blessé (chauffeur).	Imprudence du propriétaire, qui faisait travailler le cylindre à une pression que son mode de construction ne lui permettait pas de supporter normalement.
9 déc.	Atelier de teinturerie, à la Bastide près Bordeaux (Gironde). *P.* M. Fleury. *C.* M. Lesoudier.	Chaudière verticale en cuivre, calorifère. — Diamètre = 0m,45; — Hauteur totale = 0m,85; — Pression de marche normale = 1k,1. La chaudière n'a pas été éprouvée. — Elle ne portait pas de manomètre.	Une ouvrière ayant brusquement ouvert la conduite de vapeur, le fond de la chaudière s'est violemment détaché, et la partie supérieure du générateur a été projetée contre le plafond de la pièce.	Une ouvrière gravement brûlée par la vapeur.	Construction vicieuse de la chaudière. (Insuffisance d'épaisseur et mauvaise rivure du fond. — Soupape unique ne se soulevant pas dans certaines positions.) Insuffisance de surveillance de la chaudière, où l'on a laissé monter la pression trop haut, relativement au degré de résistance de l'appareil.
17 déc.	Filature de lin, à Pont-Remy (Somme).	Réchauffeur inférieur d'une chaudière, système Farcot. — Le tuyau de communication du réchauf-	Le réchauffeur s'est déchiré à son avant-dernière tubulure sur une longueur de 1m,90, en une partie où	Le chauffeur, qui était en train d'arranger son feu, brûlé par la pro-	Disposition vicieuse des communications du réchauffeur inférieur avec le corps de la chaudière,

	P. Compagnie linière de Pont-Remy. *C.* Farcot.	feur avec le corps principal partait de l'axe du réchauffeur et non, comme le portaient les plans du constructeur, de la partie supérieure d'arrière dudit réchauffeur. Longueur = 9 mètres; — Diamètre = 0m,70; — Épaisseur = 8 millim.; — Timbre = 6 kilog.; — Établi en 1867.	l'épaisseur de la tôle avait été réduite de 8 mil. à 1/2 millim.	jection de charbons chassés du foyer par la vapeur. Dégâts sans importance.	qui permettait la formation d'une chambre de vapeur dans la partie supérieure du réchauffeur, même quand l'alimentation fonctionnait régulièrement, et qui a amené la corrosion de la tôle au point où était habituellement le niveau de l'eau.
20 déc.	Filature de laine, à Tourcoing (Nord). *P.* MM. Vandenberghe et Marescaux.	Groupe de chaudières cylindriques alimentées à l'aide d'un tuyau commun sortant d'un réchauffeur.	Indéterminées. Dans l'enquête qui a suivi l'accident, on a trouvé qu'un joint du tuyau d'alimentation posé la veille était défectueux et qu'une des soupapes de la chaudière avait pu être involontairement ouverte par les victimes qui travaillaient près d'elle. — Le jet d'eau bouillante et de vapeur qui a causé l'accident paraît provenir ou d'une fuite dans le joint défectueux ou de la brusque ouverture de la soupape, peut-être des deux causes réunies.	Deux ouvriers occupés près du générateur en service, tués, brûlés par un jet d'eau bouillante et asphyxiés par la vapeur.	Les circonstances de l'accident n'ont pû être assez nettement établies pour permettre de préciser quelles ont été les imprudences commises, et les responsabilités à mettre en jeu.
28 déc.	Fabrique de colle forte, à Dijon (Côte-d'Or). *P.* Le sieur Chapuis. *C.* Inconnu.	Chaudière cylindrique verticale, autoclave, destinée à l'extraction de la gélatine des eaux. — Hauteur = 1m,98; — Diamètre = 1m,16; — Pression = 3 kilog. — Chaudière achetée d'occasion en 1869.	La chaudière s'est rompue suivant deux lignes de rivets verticales, et s'est divisée en deux fragments dont l'un a enfoncé un des murs de l'atelier. A l'une des rivures, la première qui a cédé, l'épaisseur de la tôle était réduite à 1 millim.	Un ouvrier tué. Dégâts matériels.	Circonstance fortuite. Insuffisance d'épaisseur de la tôle, difficile à reconnaître au point où elle s'est produite.

RÉSUMÉ.

Nombre d'accidents		18
Nombre de victimes.	Tués ou morts des suites de leurs blessures	22
	Blessés	20

RÉPARTITION DES ACCIDENTS.

Par nature d'établissements.

Usine métallurgique	1
Bateaux à vapeur	2
Chemin de fer	1
Ateliers mettant en œuvre le coton et le lin	2
Sucrerie	1
Etablissements divers (battage de blé 2, etc., etc.)	11

Par nature d'appareils.

Chaudières cylindriques horizontales, avec ou sans bouilleurs	6
— — à foyer intérieur, tubulaires (dont une locomotive)	6
Chaudières cylindriques verticales	3
Récipients de vapeur	3

D'après les causes qui les ont occasionnés.

Imprudence ou négligence des propriétaires ou des agents chargés de la conduite des appareils (imprudence ou négligence d'agents = 10)	12
Vices de construction	3
Circonstances fortuites ou concours de circonstances diverses	2
Causes indérminées	

ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES.

CHRONIQUE.

Janvier 1872.

DU MÉLANGE DES EAUX COURANTES AU CONFLUENT DE DEUX COURS D'EAU; MOYEN DE L'ÉVITER.

Lorsqu'un petit cours d'eau tombe dans une grande rivière, dans un lac ou dans un canal, les tourbillonnements qui se produisent au confluent, ou la simple action du vent et du batillage suffisent pour opérer le mélange des deux eaux, et jusqu'ici on n'avait pas trouvé un moyen simple d'empêcher ce mélange; voici celui que j'ai eu occasion d'employer et qui me paraît susceptible de nombreuses applications.

Il suffit d'entourer le débouché du petit cours d'eau d'une cloison grossière, non étanche. En laissant les eaux du ruisseau s'écouler librement par les vides de la cloison, l'eau de la rivière ne pourra entrer, même en temps de crue, dans le petit bassin formé autour du confluent; car l'eau du ruisseau, en s'écoulant par les vides de la cloison, subit une perte de charge; son niveau est donc plus élevé à l'intérieur qu'à l'extérieur du bassin, et l'eau extérieure n'y peut rentrer. La cloison détruit d'ailleurs les tourbillonnements et le batillage de l'eau. Si l'on veut détourner complétement le petit ruisseau et empêcher tout mélange de son eau avec celle de la rivière à l'extérieur du bassin, la cloison non

étanche est encore suffisante; car, par l'effet de la dérivation du petit ruisseau, une partie de l'ean de la rivière est appelée dans le bassin; elle subit une perte de charge en traversant la cloison; il en résulte une dénivellation de l'extérieur à l'intérieur du bassin, et pas une goutte d'eau du ruisseau ne peut sortir par les vides de la cloison.

J'ai eu occasion d'appliquer deux fois ce procédé.

En construisant l'usine de Saint-Maur, j'ai découvert une source considérable débitant par vingt-quatre heures 12 à 14000 mètres cubes d'eau d'assez bonne qualité pour être distribuée dans Paris.

Mais cette source, qui sort au niveau d'un des canaux de fuite de l'usine. était envahie par la moindre crue de la Marne, et ses eaux limpides disparaissaient sous les flots boueux de la rivière. Après de nombreux tâtonnements infructueux, j'eus l'idée d'entourer la source, à son débouché, d'une grossière cloison de planches non jointives; le bassin, ainsi formé, resta rempli d'eau parfaitement limpide, tandis que les planches de l'autr ecôté étaient baignées par l'eau trouble de la Marne.

Cette expérience fut prolongée pendant plusieurs mois; je remplaçai la cloison en planches par un puisard maçonné qui s'élève au-dessus du niveau des grandes eaux de la Marne. Au bas se trouve l'ouverture divisée en plusieurs compartiments étroits, au travers desquels les eaux de la source passent depuis 1865, sans être jamais troublées par celles de la rivière.

On a souvent utilisé la source en refoulant ses eaux dans les réservoirs de Ménilmontant au moyen des pompes de Saint-Maur. La seule condition qu'on s'impose pour qu'elles restent limpides et sans mélange, c'est de ne pas aspirer toute l'eau de la source. Si les pompes aspiraient un volume plus grand, pas une seule goutte d'eau de la source ne tomberait dans la Marne; mais l'eau de la rivière entrerait dans le puisard.

La seconde application a été faite au bassin de la Villette.

Vers la fin du mois de mai 1871, les bâtiments de la compagnie des Magasins généraux ayant été incendiés par les insurgés, les énormes amas de blé qu'ils renfermaient continuèrent à brûler pendant plusieurs mois. On y déversa d'une manière à peu près continue les eaux d'une bouche d'incendie qui, se chargeant de détritus organiques de la nature la plus fétide, ne tardèrent pas à infecter d'abord les bassins ouverts sous les bâtiments pour faciliter l'accès et le déchargement des bateaux, puis le bassin de la Villette, puis enfin le canal Saint-Martin.

Les plaintes les plus vives s'élevèrent de tous les quartiers environnants. On eut d'abord l'idée d'isoler les bassins des bâtiments incendiés par des bâtardeaux étanches; mais on reconnut bien vite que cela était impossible, parce que les chenaux étaient encombrés par des poutres, des débris de pierres de taille et de charpente. Je donnai l'ordre de passer outre et de construire les bâtardeaux, quoique j'eusse la certitude qu'ils seraient perméables, puis de mettre chaque bassin en communication avec l'égout public par une ouverture pratiquée à un niveau plus bas que celui du bassin de la Villette; par ces ouvertures s'écoulèrent non-seulement les eaux fétides des bâtiments incendiés, mais encore une certaine quantité d'eau du bassin de la Villette, passant à travers les vides des bâtardeaux et par conséquent produisant une certaine perte de charge. Il y avait donc dénivellation d'un côté à l'autre des bâtardeaux et les eaux fétides, repoussées par celles du bassin de la Villette, cessèrent de s'y mêler et de les infecter.

Le succès fut complet, et très-peu de jours après, le bassin de la Villette et le canal Saint-Martin cessèrent de répandre des émanations fétides.

Je crois qu'on trouvera de nombreuses occasions d'appliquer ce système très-simple et très-économique de séparation de deux cours d'eau.

E. Belgrand.

LE TUNNEL DES ALPES ET LA GÉOLOGIE.

Deux notes lues à l'Institut par M. Élie de Beaumont, en juin 1870 et juillet 1871, montrent l'influence scientifique du percement des Alpes. Nous possédons aujourd'hui un forage de 7000 mètres de profondeur, et lorsque M. Mulot allait à 1000 mètres, le résultat était déjà un fait sans précédent.

L'idée d'établir une jonction souterraine entre la Savoie et le Piémont, par Modane et Bardonnèche, appartient à un habitant de Bardonnèche, M. Médail, qui l'exposa dans un opuscule en 1841. En 1845, M. Maus, ingénieur belge chargé du chemin de Gênes, et M. de Sismonda, professeur de géologie à Turin, eurent mission de contrôler les assertions, et après une longue exploration de la chaîne, se prononcèrent pour la direction proposée. Mais on se préoccupait des difficultés d'exécution. M. de Sismonda établit un profil géologique qui fut discuté en 1850, à l'académie de Turin. Outre les roches dures, on allait rencontrer la chaux sulfatée, et si des fontes-cheminées avaient ouvert échappement aux gaz qui avaient modifié les calcaires de la formation, les eaux de neige étaient descendues, et pouvaient former des réservoirs bien difficiles à épuiser. M. Élie de Beaumont annonça que la chaux sulfatée serait sans eau, à l'état d'anhydrite, peut-être salifère; que dès lors les travaux, semblables à ceux des mines de sel de Bavière ou du Tyrol, n'étaient point effrayants.

La construction commença en 1857 et, grâce aux machines perforatrices qui attaquèrent la montagne par les deux bouts, les ateliers se joignirent en 1870 et l'exploitation du tunnel avait lieu en octobre 1871.

L'entrée est à Modane, dans la vallée de l'Arc, affluent de l'Isère, à l'altitude de 1203 mètres. La sortie à Bardonnèche est dans la vallée de la Doire et du Pô, à l'altitude de 1335 mètres et à la distance horizontale de 12220 mètres. Les couches que l'on traverse et qui, à l'origine des temps, s'étaient déposées horizontales, ont été relevées par le soulèvement du noyau de gneiss de la chaîne et font ici un angle de 50 degrés à l'horizon. Dans ces conditions, le tunnel, si par la pensée on remet les choses en place, devient un large sondage vertical, où, sur toute la profondeur, la roche est à la main de l'observateur. Il n'y a qu'à rétablir les épaisseurs orthogonales, ce qui revient à réduire aux 6/10 toutes les épaisseurs constatées. Alors, au lieu d'un tunnel de 12000 mètres, on a un

orage de 7 000 mètres, le plus grand que la science ait jamais étudié.

Cette immense formation, qui appartient au lias, se divise en trois couches, le terrain anthracifère sur 1 500 mètres, la masse calcaire sur 500 mètres et le calcaire schisteux sur 5 000 mètres.

Le terrain anthracifère débute par des éboulis et finit par une couche de 220 mètres de quartzites, si durs qu'ils ont coûté deux ans à traverser.

La masse calcaire contient la chaux sulfatée, et elle est bien à l'état d'anhydrite, sans eau; souvent elle est remplacée par du calcaire cristallin. Cette assise solide de 500 mètres produit de grands escarpements, dont les formes hardies frappent les yeux dans le paysage; elle est celle qui s'accuse le mieux au dehors et se reconnaît le mieux dans ses prolongements.

Le calcaire schisteux admet la séparation en trois zones ; la zone supérieure, de 1 000 mètres d'épaisseur, est caractérisée par des feuillets de schiste noir, qui doivent leur coloration au charbon; la zone intermédiaire, de 1 500 mètres, a une proportion plus forte de sable quartzeux, qui se décèle par la facilité avec laquelle la roche raye le verre. La zone inférieure compte pour 2 000 mètres gardant la prédominance de l'élément calcaire sur l'élément schisteux, avec moins de sable.

Aux schistes noirs qu'on trouve dans les échantillons des trois zones, il faut ajouter le talc, ce minéral verdâtre et doux au toucher qu'on rencontre si souvent dans les Alpes. Enfin, des filons de spath calcaire et de quartz hyalin ont, à une époque plus récente, si bien rempli partout les fissures du terrain, que de perméable il est devenu complétement étanche. L'eau manquait tellement dans le tunnel, qu'il fallait apporter du dehors celle même qui était nécessaire à l'aiguisage des outils.

Une objection peut venir : les couches n'ont-elles pas été repliées sur elles-mêmes, et n'exagère-t-on pas des épaisseurs qui ne sont que doublées? Aucun doute à l'égard du terrain anthracifère, de la masse calcaire, dont la régularité est complète; quant au calcaire schisteux, on peut s'en rapporter à l'expérience des ouvriers mineurs; ils ont fait, par leurs trous de forage, une connaissance des roches bien plus intime qu'aucun minéralogiste n'aurait la patience de la faire; ils ont déclaré qu'aucune ne s'est répétée et n'a été traversée deux fois.

Si l'on observe que le mont Blanc, avec son altitude de 4 800 mètres, ne s'élève que de 4 000 mètres au-dessus de la plaine, et que les autres sommets de la chaîne ne dépassent guère 3 500 mè-

tres, si l'on songe que sur ces hauteurs, les conches sont inclinées ou repliées, on comprendra le service rendu par un forage parfaitement vérifié de 7 000 mètres. On se rappellera, à la vue de ces colossales assises, le mot de Saussure : « la nature a travaillé en grand dans les Alpes. »

Un dernier mot, et il doit être pour M. de Sismonda ; les ouvriers, frappés de l'exactitude des renseignements qu'on leur donnait à l'avance sur les roches qu'ils allaient rencontrer, disaient : « Pour la science, les montagnes sont transparentes. »

La géologie doit donc aujourd'hui éclairer les travaux.

Mellé.

(N° 4)

PRIX DÉCERNÉS

PAR DÉCISION MINISTÉRIELLE DU 31 JANVIER 1872,

Conformément à la circulaire du directeur général des ponts et chaussées, du 28 janvier 1835,

Aux auteurs des meilleurs mémoires publiés dans les Annales des ponts et chaussées

EN 1869 :

MÉDAILLE D'OR DE 600 FRANCS.

A M. Fargue, ingénieur ordinaire des ponts et chaussées, pour son mémoire (n° 174) sur les rivières à fond mobile, donnant la corrélation entre la configuration du lit et la profondeur d'eau.

DEUX MÉDAILLES D'OR DE 300 FRANCS.

1° A MM. Chanoine, inspecteur général des ponts et chaussées en retraite, et de Lagrené, ingénieur ordinaire, pour un mémoire (n° 200) sur la construction de douze barrages éclusés entre Paris et Montereau ;

2° A M. Auguste Forestier, ingénieur en chef des ponts et chaussées, pour son mémoire (n° 182) sur la conservation des bois à la mer au point de vue surtout de leur préservation contre les ravages du taret.

MENTIONS HONORABLES.

1° A M. Louis-Jules Michel, ingénieur ordinaire des ponts et chaussées, pour son mémoire (n° 176) sur les chemins de fer d'intérêt local. — Études sur leur trafic probable ;

2° A M. Ruelle, ingénieur en chef des ponts et chaussées, pour son mémoire (n° 189) sur les chemins de fer à bon marché et d'intérêt local.

N° 5

MÉMOIRE

Sur les conditions nautiques du golfe et du mouillage d'Aigues-Mortes.

Par M. LENTHERIC, ingénieur des ponts et chaussées.

Le mémoire suivant venait d'être rédigé quand éclata la guerre malheureuse qui vient de se terminer d'une manière si cruelle pour notre pays.

Nous ne connaissons pas encore les réformes économiques et financières que de douloureuses nécessités nous imposeront; mais, si dès à présent nous devons prévoir des réductions assez sensibles dans le chiffre de nos dépenses en général, nous ne pensons pas que ces réductions puissent porter sur ceux de nos travaux publics qui intéressent directement notre richesse nationale ou notre force militaire. Aucune question se rapportant à notre prospérité et à notre développement maritimes n'a donc perdu pour nous de son importance; et c'est à ce titre que l'étude qui va suivre, faite en des temps plus heureux, nous paraît encore de nature à présenter un certain intérêt.

Si la France, en effet, veut conserver dans le bassin de la Méditerranée la part d'influence à laquelle elle a droit, et que son intérêt et son honneur lui commandent de maintenir à tout prix, il importe au plus haut degré qu'elle développe les établissements maritimes qu'elle possède aujourd'hui et même qu'elle en crée de nouveaux partout où les convenances commerciales rendront cette création facile.

Il ne faut pas se le dissimuler. En présence des convoitises de la Russie sur Constantinople, de celles de l'Angleterre sur l'isthme de Suez, des développements des marines autrichienne et italienne, de l'insatiable avidité de la Prusse qui rêve aussi de devenir une puissance maritime; l'influence de la France dans le bassin de la Méditerranée tend, depuis quelques années, à décroître d'une manière assez sensible; et, dès que cette diminution d'influence commencera à se faire sentir, la progression en sera rapide. Or, il est toujours plus facile de prévenir un mal que de le combattre.

Il serait donc, à notre avis, fort opportun que le gouvernement se pénétrât sérieusement de cette idée que deux des plus riches gisements houillers de la France, les bassins d'Alais et de Bessèges, se trouvent à proximité du littoral de la Méditerranée; que des chemins de fer concédés depuis plusieurs années et actuellement en pleine voie d'exécution, vont relier très-prochainement ces gisements à l'un des points de ce littoral où il serait facile d'entreprendre, sur une très-vaste échelle, l'exportation de nos charbons indigènes dans des conditions assez avantageuses pour faire une concurrence victorieuse aux produits de la Grande-Bretagne, et que la seule chose qui paraisse s'opposer à cette exportation, c'est le préjugé séculaire qui représente le port d'Aigues-Mortes comme soumis à des ensablements qui en interdisent l'entrée.

C'est pour détruire ce préjugé que nous avons cru devoir résumer en quelques lignes les observations que nous avons faites pendant plusieurs années sur le littoral d'Aigues-Mortes, et nous espérons qu'elles feront envisager cette partie de notre domaine maritime sous un jour plus vrai qu'on ne l'avait fait jusqu'ici.

Mars 1871.

Les modifications qu'ont subies depuis l'époque du moyen âge l'estuaire du Rhône et la direction de ses embouchures nous entraîneraient à des développements bien en dehors de notre sujet; mais nous croyons qu'il est nécessaire de faire remarquer dès à présent que c'est aux atterrissements du Rhône et non aux ensablements de la mer qu'il faut attribuer la formation de la plaine comprise entre Aigues-Mortes et le littoral, et que la configuration seule des étangs et leurs différentes communications se sont successivement modifiées par une série continue d'alluvions soit fluviales soit paludéennes.

II.

La partie du littoral de la mer Méditerranée qui forme le golfe d'Aigues-Mortes commence, du côté de l'est, à la pointe de l'Espignette et se termine, du côté de l'ouest, à l'embouchure du Lez située dans le département de l'Hérault et désignée sous le nom de Grau-de-Palavas. La distance rectiligne entre ces deux points ou la longueur de la corde de l'arc du cercle dont ils sont les deux extrémités est de 20 kilomètres environ; la flèche ou la profondeur du golfe, a 7 kilomètres. Au fond du golfe à 7 kilomètres environ de la pointe de l'Espignette, débouche le chenal maritime d'Aigues-Mortes à la mer dont l'ouverture remonte à l'année 1725 et porte le nom de Grau-du-Roi (voir Pl. I, *Carte du littoral d'Aigues-Mortes*).

Ce chenal est presque exactement tracé en ligne droite; il a une longueur de 5 600 mètres depuis son origine sous les murs d'Aigues-Mortes jusqu'à son embouchure en mer où il est protégé par deux fortes jetées en maçonnerie. Sa largeur varie de 40 à 45 mètres; dans la traversée du Grau-du-Roi elle augmente d'une manière progressive jusqu'à atteindre 60 mètres entre les parements intérieurs des deux musoirs. La profondeur du chenal est partout supérieure à

3 mètres et cette profondeur se maintient aussi à l'embouchure sans le secours du moindre dragage.

Ce fond à peu près constant à l'embouchure du chenal est la conséquence naturelle de la position exceptionnellement abritée de cette partie du golfe d'Aigues-Mortes ; il y existe sans doute, comme à toutes les embouchures des graus de navigation ouverts dans les plages sablonneuses, une certaine tendance à la formation d'une barre ; mais, malgré l'absence complète de dragages, il n'y a jamais eu obstruction de la passe ; et il est malheureux que cette fixité du fond à l'embouchure du chenal, que des observations très-simples auraient pu mettre en évidence, ait été systématiquement niée et qu'on se soit plu à jeter sur cette partie du littoral une défaveur imméritée.

Il n'est pas nécessaire, avons-nous dit, de réfuter l'opinion des partisans, quoique encore très-nombreux, mais à coup sûr très-peu éclairés, du reculement de la mer, qui affirment encore, par respect pour une tradition assez mal comprise, que les flots baignaient du temps de Saint-Louis les murs d'Aigues-Mortes.

Tous ceux qui ont étudié par eux-mêmes la topographie de cette partie de nos côtes savent très-bien aujourd'hui que le rivage de la mer n'a pas subi depuis le XII[e] siècle de variations appréciables.

Mais il n'en existe pas moins chez presque tout le monde une idée préconçue au sujet de l'ensablement de cette partie du littoral de la Méditerranée.

Il est vrai qu'en général, partout où la plage est sablonneuse et exposée à tous les coups de vent soit du large soit de terre, le talus qui forme la plage est instable et que le fond de la mer peut éprouver des variations après chaque tempête.

Cette question de la variation des plages sablonneuses a préoccupé pendant longtemps les ingénieurs italiens, et

a été aussi le sujet de recherches intéressantes de la part des ingénieurs de la province du Languedoc.

A l'époque où la théorie du courant littoral de Montanari était presque universellement acceptée, où l'on admettait que ce courant devait faire le tour entier de la mer Méditerranée, suivre fidèlement toutes les anfractuosités de son littoral et passer même dans la mer de Marmara, la mer Noire et la mer d'Azof, on n'hésitait pas à lui attribuer aussi presque exclusivement la plupart des effets d'ensablement qui se produisent dans les ports de la Méditerranée; et c'est ainsi qu'on pensait que les sables du Rhône transportés par le courant littoral étaient la principale cause des ensablements des ports de Cette et d'Agde, et étaient même entraînés jusque dans le golfe de Roses en Espagne.

Rien n'est cependant plus contraire à l'évidence des faits; il est clair, en effet, que si les sables du Rhône peuvent être entraînés dans une certaine mesure par les courants littoraux qui se forment sous l'influence des vents du sud et du sud-est, ils ne sauraient franchir les parages profonds où ils doivent se déposer dès qu'ils ne sont plus tenus en suspension par l'effet de l'agitation de la mer; et, d'autre part, l'examen des sables du rivage depuis le Rhône jusqu'à Roses démontre de la manière la plus nette qu'il n'y a pas eu transport à une aussi grande distance. A Roses, les sables présentent un grain assez volumineux et assez grossier; à Agde et à Cette, ils sont beaucoup plus petits, réguliers et arrondis; aux embouchures du Rhône, c'est du limon : l'inverse devrait avoir lieu s'il y avait eu transport depuis le Rhône jusqu'au golfe de Roses.

Il est donc tout à fait inadmissible de supposer que le courant littoral ait jamais eu une assez grande importance au point de vue de l'ensablement des ports. Peut-on concevoir d'ailleurs qu'un courant assez peu rapide pour n'avoir été ni clairement observé ni même soupçonné pendant plusieurs siècles, ait la force de soulever et de trans-

porter une assez grande quantité de sables pour combler les ports qu'il trouve sur son passage, et qu'on lui ait de plus attribué la propriété de changer la direction des fleuves? Évidemment non; et l'opinion erronée d'attribuer à ce courant littoral le transport des sables vient de ce que sa direction coïncide avec celle de courants locaux qui se manifestent sous l'influence des vents impétueux du large capables d'imprimer aux sables du rivage les déplacements observés.

« L'opinion commune, dit Mercadier dans ses Recher-
« ches sur les ensablements des ports de mer (*), est
« que ces sables sont envoyés par le Rhône, mais il s'en
« faut bien qu'on en soit assuré, et l'on peut soutenir
« avec fondement que ce n'est pas de ce fleuve qu'ils
« viennent au moins pour la plus grande partie. »

« Ces sables viennent-ils du Rhône, écrit M. de Basville,
« intendant de la province du Languedoc (**), ou sont-ils
« enlevés par les flots, lorsque le vent du Midi règne?
« C'est ce que l'on n'a pu jusqu'à présent deviner. »

On voit, d'après ces deux citations, que, dans le courant du siècle dernier, on ne se rendait pas encore un compte bien net de la cause des ensablements sur les côtes du Languedoc.

L'ingénieur Zendrini, cherchant à découvrir la cause de la variation des plages sablonneuses, a le premier et le mieux précisé la nature du phénomène. Il observe en effet avec une parfaite netteté que lorsqu'une plage offre des eaux peu profondes et se trouve exposée *obliquement* à l'action des vents impétueux du large, ceux-ci l'attaquent

---

(*) *Recherches sur les ensablements des ports de mer et sur les moyens de les empêcher à l'avenir, particulièrement dans les ports du Languedoc.* Montpellier, 1788, page 3.

(**) *Mémoire pour servir à l'histoire du Languedoc.* Amsterdam, 1736, page 327.

et transportent ailleurs les matières qu'ils ont arrachées du rivage ou soulevées des hauts-fonds.

C'est là, en effet, le véritable point de vue auquel il convient de se placer. C'est *l'obliquité* seule des vents du large par rapport à la côte qui est la cause du transport latéral des sables.

Lorsque ces vents soufflent avec force, ils accumulent une mer énorme sur la côte, et les vagues soulèvent les sables du fond partout où la profondeur est inférieure à 3 ou 4 mètres, limite au-dessous de laquelle les vagues du large peuvent être considérées comme sans action considérable sur le fond de la mer : ces sables tenus en suspension par l'agitation de la mer sont ensuite transportés latéralement par le courant et se déposent, soit dans les parages profonds où le courant les entraîne, soit dans l'intérieur des ouvrages avancés des ports où les jetées produisent un calme relatif qui facilite leur dépôt.

Il est aussi facile de concevoir que le mouvement de translation parallèlement au rivage doit être maximum, lorsque la direction du vent du large par rapport à la côte est de 45° environ.

Ces principes généraux une fois admis, on n'a qu'à jeter les yeux sur une carte du littoral pour reconnaître que les conditions essentielles de l'ensablement n'existent pas pour le fond du golfe d'Aigues-Mortes.

La pointe de l'Espignette, située à l'est de ce golfe, le met à l'abri des grosses mers du large et le protége en même temps contre les effets du courant littoral qui dans cette partie du golfe du Lion se manifeste sous l'action des vents d'est et surtout de sud-est.

Ce dernier vent est le vent des tempêtes ; il vient directement du large, parcourt sur la plaine liquide 3 ou 4 cents milles sans rencontrer de continent, et produit dans le golfe de Lion ces violents coups de mer auxquels résistent difficilement les navires qui se sont laissés surprendre trop près

des côtes. Or, ce vent, qui agit directement sur toute la partie du littoral qui commence à Palavas et descend sur Cette et Agde, n'a presque aucune action dans le golfe d'Aigues-Mortes. Les dunes de la pointe de l'Espignette couvrent d'une manière très-efficace les parages du Grau-du-Roi et le vent de sud-est qui doit forcément passer sur ces dunes a perdu beaucoup de son intensité et de son effet nuisible.

On voit, en effet, pendant les gros temps, la mer, très-agitée à 6 ou 7 kilomètres au large dans l'axe du chenal maritime d'Aigues-Mortes au Grau-du-Roi, déferler avec violence à l'est sur la pointe de l'Espignette, à l'ouest sur la plage qui commence au Grau de Palavas et descend dans la direction de Cette, tandis qu'un calme relatif existe toujours à l'intérieur du golfe d'Aigues-Mortes dans toute la partie située en deçà de la ligne qui joint Palavas à la pointe de l'Espignette.

Cette situation particulière et cet abri que produit la pointe de l'Espignette contre les coups de mer du large sont connus de tous les marins expérimentés qui redoutent avec juste raison l'entrée toujours périlleuse du port de Cette pendant les gros temps.

Pour n'en citer qu'un exemple, nous nous bornerons à rappeler que durant la violente tempête du sud-est qui bouleversa les 13, 14 et 15 décembre 1865, cette partie du golfe de Lion, cinq navires en détresse furent affalés à la côte par le vent et la grosse mer : quatre tentèrent l'entrée du port de Cette, mais furent jetés à la côte entre Cette et Agde et complétement perdus. Un seul, mieux inspiré, vint se réfugier désemparé dans le golfe d'Aigues-Mortes. Ce dernier, le *Saint-Joseph*, mouillé en désespoir de cause, tout à l'ouest du golfe, c'est-à-dire dans les plus mauvaises conditions, put se maintenir deux jours sur ses ancres sur un fond d'une excellente tenue et reprendre la mer au premier moment d'embellie. De pareils événements suffisent

pour démontrer les excellents services que peut rendre le golfe d'Aigues-Mortes, au point de vue maritime.

La pointe de l'Espignette qui constitue ainsi pour le golfe d'Aigues-Mortes une sorte de môle naturel protecteur contre le vent des tempêtes n'agit pas d'une manière moins efficace pour le préserver des effets du courant littoral qui, dans ces parages, longe la côte de l'est et de l'ouest. La vitesse de ce courant croît avec la force du vent du large (sud-est). Il suit la côte de l'Espignette jusqu'à la pointe et se détache ensuite par la tangente : une partie du courant s'épanouit en s'affaiblissant dans l'intérieur du golfe où il finit bientôt par se perdre ; mais la masse principale de cette sorte de rivière littorale est rejetée sur Pérols et Palavas, et reprend ensuite jusqu'à Cette une direction parallèle au rivage.

Il se passe donc dans le golfe d'Aigues-Mortes un phénomène analogue à celui qui met si heureusement à l'abri des ensablements le port de Port-Vendres.

On sait en effet que la pointe septentrionale de Collioure ainsi que les eaux du Tech grossies par les crues rejettent au large le courant littoral qui se dirige alors vers le cap de Creux dont l'avancement en mer est de plus de deux lieues ; une partie du courant se réfléchit au cap de Creux et va rejoindre vers Collioure le courant principal : dans ce long trajet il a passé sur de grandes profondeurs et a naturellement déposé une notable partie des sables qu'il transportait, de sorte que Port-Vendres est peu ensablé : le contre-courant est d'autant plus sensible que le vent contraire est plus fort et le courant littoral lui-même plus accentué ; car la réflexion est d'autant plus rapide.

C'est exactement le même effet qui se produit dans le golfe d'Aigues-Mortes. Seulement le courant rejeté au large par la saillie de la pointe de l'Espignette rencontre la plage de Palavas sous un angle très-aigu. Dans ces conditions, il ne peut pas s'établir, comme au cap de Creux, un contre-

courant ramenant vers l'Espignette une partie du courant littoral; et celui-ci continue sa route parallèlement au rivage, de Palavas à Cette et de Cette à Agde. La forme de la côte est donc des plus heureuses, puisque la pointe de l'Espignette forme une saillie assez prononcée pour éloigner le courant littoral des parages du Grau-du-Roi, et que la plage de Palavas se présente par rapport à ce courant dévié sous une obliquité suffisante pour empêcher le courant d'être ramené au Grau-du-Roi par réflexion.

A partir de Palavas jusqu'à Cette et Agde, toute la plage est exposée directement aux vents du large; pendant les grosses mers, les sables de la côte sont soulevés et le courant littoral qui atteint, durant la tempête, une vitesse de 2^{m}.50 à 3 mètres peut être comparé à une véritable rivière marine qui longe la côte chargée des sables que les vagues lui ont livrés et qu'elle dépose dans tous les endroits abrités : c'est ainsi qu'à Cette, entre le brise-lames et les deux jetées de Saint-Louis et de Frontignan, il se dépose tous les ans de 80,000 à 100,000 mètres cubes de sable.

Rien de pareil dans le golfe d'Aigues-Mortes; car la pointe de l'Espignette couvre le Grau-du-Roi des coups de vent de sud-est, procure un calme relatif dans l'intérieur du golfe et rejette en même temps au large le courant littoral plus ou moins chargé de sables qu'il a soulevés sur son parcours.

La configuration de la côte constitue ainsi au-devant du Grau-du-Roi une rade sûre et tranquille, à l'abri des grosses mers du sud-est et donnant accès à un grau de navigation placé lui-même en dehors des limites des ensablements.

Les atterrissements venus de l'est s'arrêtent à la pointe de l'Espignette qui peut être considérée comme une sorte de musoir défensif contre lequel viennent déferler les vagues chassées par les vents du large. Les sables détachés de la partie est de la pointe sont légèrement accumulés à

la partie ouest, de manière que ce promontoire naturel a une tendance très-visible à s'avancer vers le large et à couvrir de plus en plus le golfe d'Aigues-Mortes. Aucun transport latéral de sable n'est possible dans la partie concave du golfe dont le Grau-du-Roi occupe le fond; mais, un peu avant d'arriver au grau de Palavas, l'effet du courant littoral se fait sentir de nouveau; et ce petit grau subit après chaque coup de mer des atterrissements considérables qui obstruent son entrée d'une manière souvent complète.

De cette fixité de la plage dans la partie concave qui forme le contour du golfe et de la tendance à l'ensablement et par suite à l'avancement en mer de la pointe de l'Espignette d'une part, et du grau de Palavas de l'autre, nous sommes conduits à penser que dans un avenir très-éloigné, il se produira sur ce point de la côte un phénomène analogue à celui qui a donné naissance aux différents étangs compris entre Aigues-Mortes et la mer. C'est, en effet, par suite de l'accumulation successive des atterrissements produits par le transport des sables sous l'action des vents du large, que différents cordons littoraux ont détaché du domaine maritime d'abord l'étang de Leyran, puis ceux de la Ville, de la Marette et du Roi, enfin ceux du Repausset et du Repos. Il est probable qu'après une période plusieurs fois séculaire il se formera entre la pointe de l'Espignette et le grau de Palavas un dernier cordon littoral. Le golfe d'Aigues-Mortes se fermera de plus en plus et finira par ne communiquer avec la mer que par un grau qui, à son tour, sera exposé à toutes les éventualités des ensablements. Pendant toute la période qui verra s'accomplir la fermeture de cette rade, le fond du golfe conservera le même contour, la profondeur s'y maintiendra; aucun ensablement ne pourra s'y produire et les courants partiels qui naissent toujours le long de cette côte sous l'influence des vents du large et quelquefois sous celle des

vents dominants du nord-ouest diminueront tous les jours d'intensité.

Le golfe d'Aigues-Mortes dont la superficie est de plus de quatre mille hectares et dont les profondeurs varient de 4 à 17 mètres sur des fonds de bonne tenue deviendra donc, dans la suite des temps, une sorte de bassin intérieur dont les conditions nautiques seront aussi bonnes que celle de l'étang de Berre.

Cette conception d'un dernier cordon littoral composé de flèches ou de bancs de sable qui finiront par détacher du domaine maritime le golfe d'Aigues-Mortes ne doit pas être considérée comme une vaine hypothèse. Les contours de tous les littoraux se modifient lentement, il est vrai, mais d'une manière incessante sous l'action continue des vagues et des brisants. Le double travail de la mer et des eaux continentales finit à la longue par donner aux rivages cette forme doucement ondulée si caractéristique dans la zone équatoriale et déjà très-nettement accusée dans la zone tempérée, tandis que les côtes des régions polaires ont encore conservé le relief de l'écorce terrestre avec tous ses escarpements, ses profondes découpures et présentent ces ramifications nombreuses et dentelées connues sous le nom de fiords.

Cette différence radicale entre le dessin des côtes des régions polaires et des régions tempérées ou équatoriales provient, on le sait, de l'époque plus ou moins reculée par rapport à nous à laquelle a cessé la période de froid qui se faisait sentir autrefois sur toute la surface du globe et jusque sous les tropiques et l'équateur.

La période glaciaire, disparue de la zone torride depuis un nombre très-considérable de siècles, existait encore dans nos climats à une époque relativement récente et paraît aujourd'hui limitée aux régions de l'extrême nord et de l'extrême sud. Pendant toute sa durée, les reliefs des côtes n'ont pu subir aucune altération; mais dès que les

golfes ont été dégagés des glaces qui les encombraient, le mouvement incessant des eaux de la mer et les apports continus des eaux continentales ont adouci les lignes des rivages, usé et fait disparaître leurs aspérités, comblé les baies les plus profondes et donné aux contours du littoral une régularité croissante des régions tempérées à la zone tropicale.

La fermeture des golfes et leur remplacement par des étangs parallèles au rivage, séparés de la mer par un cordon littoral et qui, dans la suite des temps, sont destinés à être comblés par des alluvions, est donc un phénomène général dont la marche, très-lente à la vérité, mais continue, doit pouvoir être constatée sur la plupart des côtes des régions tempérées.

Nulle part ce phénomène n'est mieux accentué que sur le littoral d'Aigues-Mortes. Les réparations successives des étangs de Leyran, de la Ville, de la Marette et du Roi, du Repausset et du Repos en sont les différentes phases très-nettement marquées : et le golfe d'Aigues-Mortes lui-même, aujourd'hui largement ouvert du côté du sud-ouest suivant un angle de 90 degrés environ dont le sommet est au Grau-du-Roi et les deux côtés dirigés sur la pointe de l'Espignette et sur le grau de Palavas, finira à son tour, par devenir une rade de plus en plus fermée, puis un étang intérieur définitivement isolé de la mer par un dernier cordon littoral.

Cette transformation ne peut avoir aucun intérêt au point de vue maritime puisqu'elle ne doit avoir lieu que par une succession fort lente d'atterrissements aux deux extrémités du golfe ; mais, si l'état dans lequel se trouvera notre littoral après une longue suite de siècles n'a pour nous aucune importance pratique, il n'en est pas de même des conditions actuelles.

Or ces conditions peuvent se résumer de la manière suivante : *pas de tempêtes sous l'action des vents du large ;*

pas d'ensablements sous l'influence des courants littoraux. Elles ont été jusqu'ici, nous ne craignons pas de le dire, systématiquement méconnues ou niées ; et nous croyons qu'il est utile, en disant simplement la vérité, de signaler et de détruire la prévention dont le littoral d'Aigues-Mortes est l'objet depuis trop longtemps et qui a eu pour résultat de laisser presque sans entretien une des parties de notre littoral sur laquelle il serait aisé de créer, dans des conditions très-faciles et assez économiques, un établissement maritime d'une réelle importance.

III.

Les développements qui précédent sont, nous l'espérons, de nature à faire envisager l'atterrage d'Aigues-Mortes sous un jour plus favorable qu'on ne l'avait présenté jusqu'ici ; mais quelque vraie et rigoureuse que nous paraisse notre argumentation, nous pensons que sur telles matières les données expérimentales sont de beaucoup préférables aux raisonnements les mieux justifiés ; et nous sommes à même de pouvoir fournir à l'appui de notre thèse la série continue de nos observations que nous avons poursuivies sans relâche pendant les six années 1864, 1865, 1866, 1867, 1868 et 1869.

Le phare de l'Espignette dont les études définitives ont été faites en 1864-65 et dont la construction a été entreprise pendant les trois années suivantes nous a permis de suivre très-exactement la variation de la plage sur le bord de laquelle cet édifice a été établi. Les transports de matériaux de toute nature destinés à la construction de ce phare ayant eu lieu par mer ont nécessité l'établissement d'un débarcadère en charpente enraciné à la plage et dont les pilotis ont successivement disparu au fur et à mesure de l'avancement du rivage, nous avons donc pu nous rendre compte d'une manière très-nette de cet avancement

que nous estimons de 10 à 15 mètres en moyenne par an; et rien n'indique que cette marche continue doive s'arrêter.

Pendant les mêmes années, nous avons fait, à l'embouchure du Grau-du-Roi, des sondages jusqu'à une distance en mer de deux cents mètres, comptée à partir de la ligne qui joint les centres des deux musoirs. Les coups de sonde sont assez rapprochés pour permettre de rapporter facilement les courbes horizontales au fond de la mer : ces courbes de niveau sont aux profondeurs de 3 mètres, 2^m.50 et 1^m.50 (Voir Pl. 2, *Sondages à l'embouchure du grau du Roi*). La teinte la plus foncée indique sur chacun des plans de sondages les profondeurs de 3^m.00 et au-dessous; la teinte la plus claire indique les profondeurs de 1^m.50 et au-dessus.

Le fond de la mer est d'une stabilité presque absolue pendant la moyenne partie de l'année, lorsque règne le vent de terre (nord et nord-ouest). Or, dans les parages d'Aigues-Mortes, ces vents soufflent pendant les deux tiers de l'année environ. Il eût donc été inutile de relever alors des sondages qui n'auraient donné que des variations presque inappréciables. Nous avons eu soin, au contraire, de faire nos relevés après chaque série de grosses mers du large et à la suite de chaque période de coups de vent du sud et du sud-est dont la durée avait été de plusieurs jours. Nous avons recueilli ainsi quatre à cinq observations par année qui nous ont permis de rapporter les courbes horizontales à diverses profondeurs. Pour ne pas multiplier sans utilité le nombre des planches, nous ne donnons ici par année qu'un seul relevé de nos plans de sondages, et nous avons choisi celui pour lequel les variations des courbes de fonds ont été le plus sensible.

Nous ferons tout d'abord remarquer que depuis plus de quinze ans aucun dragage n'a été exécuté à l'embouchure du grau du Roi; et il est certain que pour qu'une profondeur constante se maintienne ainsi, sans secours artificiel, sur

une plage sablonneuse, il faut que cette plage soit dans des conditions de fixité et d'abri à peu près parfaites.

Le plus rapide examen des courbes de niveau permet de reconnaître que le grau du Roi n'est pas envahi par l'ensablement; on y remarque cependant un commencement de formation de barre sous l'action des vents et des tempêtes du large (sud et sud-est). Si on examine en effet le contour est de la courbe de niveau à la profondeur de 3 mètres, on ne peut s'empêcher de reconnaître qu'elle forme une saillie assez prononcée après chaque coup de mer du large, tandis que le contour de la même courbe présente, du côté de l'ouest, une concavité très-sensible. Cette particularité est surtout très-remarquable sur le plan de sondage relevé à la date du 16 janvier 1866, à la suite d'une période assez longue de vents du large et d'assez violentes tempêtes; et nul doute que, si cette période se fût prolongée assez longtemps, il ne se fût produit une véritable barre à l'origine du chenal; mais ce résultat n'a été que passager; le sondage fait très-peu de jours après accusait déjà une diminution très-sensible de la saillie de la courbe de 3 mètres; et on voit par le relevé des sondes du 5 juillet de la même année, que l'embouchure du chenal avait repris son état normal.

La fixité du fond de cette plage sablonneuse ne peut donc être niée, et, comme nous l'avons dit plus haut, on ne peut l'attribuer qu'à la protection de la pointe de l'Espiguette qui rejette au large le courant littoral, joue le rôle d'un véritable brise-lames et met ainsi le golfe d'Aigues-Mortes à l'abri des grosses mers du sud et du sud-est.

Mais le golfe seul d'Aigues-Mortes est ainsi protégé, et, à partir du grau de Pérols situé à l'est du grau de Palavas, les ensablements se produisent dans la direction de l'est à l'ouest sur toute cette plage sablonneuse dont le cap de Cette forme en même temps la saillie et l'extrémité. Le

port de Cette se trouve donc ainsi, au point de vue des ensablements et des coups de mer du large, placé dans une situation excessivement fâcheuse; on peut affirmer sans exagération que, depuis le jour (31 juillet 1666) où la première pierre du môle Saint-Louis a été posée, les atterrissements n'ont pas cessé un seul instant de se produire dans l'espace compris entre les deux môles; et la progression de ces atterrissements a été telle qu'en 1730 on était déjà obligé d'en extraire 80 000 mètres cubes de sable. La création du brise-lames qui couvre l'entrée du port n'a pas sensiblement amélioré cette situation; car, sans parler des conditions nautiques qui rendent les approches du port de Cette pleines de difficultés et même de périls pendant les gros temps du large, les profondeurs des passes peuvent difficilement être maintenues à plus de 6 mètres; elles sont quelquefois réduites à 5 mètres, et leur conservation entraîne un travail incessant de dragages et de déblais dont le cube s'élève annuellement à plus de 100 000 mètres en moyenne.

Le grau de Pérols, situé au point de la côte où cesse la protection de la pointe de l'Espignette, et qui se trouve ainsi soumis à l'influence du courant littoral et des coups de mer du large, est presque complétement ensablé. Il en serait absolument de même du grau de Palavas si le courant de la rivière du Lez n'y maintenait une passe, quoique d'une profondeur très-variable. Ce dernier grau n'est cependant navigable que pour les embarcations du plus faible tonnage, et les bateaux pêcheurs eux-mêmes ne peuvent y pénétrer; la diminution de profondeur y est quelquefois telle que toute espèce de navigation devient impossible, et dans certaines circonstances même l'oblitération du chenal a été complète.

Nous devons à l'obligeance de M. Salva, ingénieur du service maritime dans le département de l'Hérault, la communication de divers plans de sondage exécutés à l'em-

bouchure du grau de Palavas, en même temps que nous faisions de notre côté les relevés des sondes à l'embouchure du grau du Roi (Voir Pl. 3, *Sondages à l'embouchure du grau de Palavas*).

La comparaison de ces plans de sondage avec ceux du grau du Roi met en évidence la différence radicale qui existe entre la stabilité de la plage au-devant de ces deux graus. Alors qu'une profondeur constante de 3 mètres au minimum se maintient depuis plus de quinze ans et sans le secours d'aucun dragage à l'embouchure du grau du Roi, la profondeur de la passe varie, au contraire, à Palavas avec une déplorable facilité; les courbes de niveau aux profondeurs de 0m.50, 1 mètre et 1m.50 se déplacent après chaque coup de mer du sud-est et l'atterrissement envahit souvent le chenal qui ne peut être praticable qu'aux embarcations dont le tirant d'eau ne dépasse pas 0m.50.

L'entrée de ce grau est donc absolument impossible, même aux bateaux qui font le service de la pêche côtière; et le mouillage à l'extérieur est très-dangereux pendant les mauvais temps du sud et du sud-est, puisque cette partie de la côte est directement exposée aux coups de mer du large.

IV.

Nous ne terminerons pas cette note sans dire quelques mots des conditions nautiques du golfe d'Aigues-Mortes. D'après les observations que nous avons fait faire plusieurs fois par jour pendant six années dans cette partie du golfe de Lion, on peut évaluer à deux cents environ le nombre des jours pendant lesquels soufflent les vents de terre (nord et nord-ouest), favorables à l'appareillage : les vents du large, au contraire (sud et sud-est), sous l'influence desquels se produisent les tempêtes ne se font sentir que pendant un petit nombre de jours (soixante en moyenne). (Voir

Pl 4, *fig.* 2, *Courbes des vents*). On peut donc dire, en thèse générale, que la sortie des navires est le plus souvent facile dans le golfe de Lion, et que leur entrée au contraire est une opération délicate, à cause de l'alternative où se trouve le navire de lutter contre les vents de terre ou de suivre l'impulsion des vents du large qui peuvent l'affaler à la côte, si la tempête le met dans l'impossibilité d'assurer sa marche.

Les navires à destination de nos ports de la Méditerranée (Cette-Marseille-Toulon) et qui viennent des côtes d'Afrique ou d'Espagne ont en général une marche toute tracée : ils doivent se tenir au vent du point à atteindre et naviguer pour le cap de Creux, le point le plus saillant à l'est de la côte orientale de l'Espagne ; arrivés à cette hauteur, ils entrent franchement dans le golfe de Lion. Viennent alors les vents du nord-ouest et la route est assurée pour les ports de Cette et de Marseille.

En naviguant donc pour le cap de Creux, on aura mis le plus de chances de son côté, puisque les vents de nord et nord-ouest soufflent pendant près des deux tiers de l'année ; mais il faut aussi compter sur les vents du large (sud et sud-est) qui, venus de loin, soulèvent toute la masse liquide comprise entre la Sicile, la Sardaigne et les côtes d'Espagne et de France, et précipitent une mer énorme dans le golfe de Lion.

Le navire qui aura doublé le cap de Creux au nord dans la prévision des vents du nord-ouest peut rencontrer les rudes raffales et la grosse mer du sud-est par le parallèle de Port-Vendres ou au-dessus.

Dans le premier cas, il est prudent de chercher un abri immédiat dans l'excellent port des Pyrénées-Orientales et d'y attendre, dussent les vents du large souffler pendant quelques jours, la renverse du nord-ouest ; il y aura sans doute une légère perte de temps ; mais on épargnera au navire et à l'équipage de rudes fatigues au moins, sinon des

dangers beaucoup plus sérieux. Cette prudente conduite est malheureusement assez peu suivie. Les navigateurs, toujours désireux d'arriver le plus tôt possible à leur port de destination préfèrent lutter contre la bourrasque du sud-est, comptant sur son peu de durée. Mais si le sud-est persiste avec violence pendant trois ou quatre jours seulement, le navire affalé par le vent et la grosse mer, dérive fatalement vers le golfe de La Nouvelle, vers Agde ou vers Cette.

Or, par le vent du large les côtes sont très-embrumées et le plus souvent visibles seulement à une si courte distance que le navire n'a plus qu'à choisir le point de la côte où l'échouage lui présentera le moins de dangers. Telle est la seule explication des trop nombreux sinistres dont le golfe de Lion est le théâtre tous les hivers.

Ajoutons que, pendant les grosses mers du large, l'entrée du port de Cette est une opération assez périlleuse. Des deux passes qui donnent entrée à la rade qui précède ce port, celle de l'ouest doit être considérée comme à peu près impraticable. De l'avis de tous les marins, il vaut beaucoup mieux attérir à un mille à l'est de Cette qu'à 100 mètres à l'ouest; tenter la passe ouest serait s'exposer à un sinistre à peu près certain et d'autant plus grave que la côte est en ce point rocheuse et abrupte. — L'entrée par la passe Est ne présente pas les mêmes dangers; mais elle ne laisse pas cependant que d'être une opération fort délicate, surtout pendant la nuit, à cause de la nécessité où les navires se trouvent de raser de très-près le musoir nord-est du brise-lames et d'évoluer immédiatement après pour doubler la pointe de la jetée de Frontignan.

La relâche à Port-Vendres doit donc être considérée, pendant les gros temps du sud-est comme une manœuvre beaucoup plus sûre que l'entrée du port de Cette, si le navire n'a pas dépassé la hauteur du cap de Creux et se trouve encore à l'est du méridien de Cette. Mais, dès que

le navire est parvenu à la hauteur du cap Béarn, et bien qu'il ait pu se maintenir à l'est du méridien de Cette, cette manœuvre cesse de devenir pratique. Il vaut mieux alors tenir la mer, si le navire est suffisamment au large, ou chercher un autre asile. C'est dans ces circonstances que le golfe d'Aigues-Mortes se présente comme un lieu de refuge pour ainsi dire providentiel. Abrité des vents et de la houle du large, présentant des fonds de sable d'une excellente tenue de 4 à 17 mètres de profondeur, il permet aux navires de tenir sur leurs ancres et d'attendre sans dangers ni avaries le premier moment d'embellie.

L'atterrage du golfe d'Aigues-Mortes laissait beaucoup à désirer du côté des terres basses que prolongent à l'ouest le delta du Rhône; le phare du Grau-du-Roi placé au fond du golfe donnait aux navires qui venaient du côté de Marseille des indications peu sûres et quelquefois même trompeuses. Ce mauvais état de choses a disparu depuis l'érection sur la pointe de l'Espignette (1er janvier 1869) d'un phare de 3e ordre qui a permis d'éteindre pour toujours le phare défectueux du Grau-du-Roi. L'entrée du golfe d'Aigues-Mortes présente donc aujourd'hui de tous côtés des facilités exceptionnelles; et on ne peut mettre en doute que, si deux jetées étaient construites au fond de ce golfe et prolongées en mer jusqu'aux profondeurs de 6 à 7 mètres, on créerait un véritable port de refuge et de relâche d'une précieuse et incontestable utilité pour tous les navires qui, surpris dans la partie supérieure du golfe de Lion par les tempêtes du sud-est, redoutent avec une assez juste raison les éventualités de l'entrée du port de Cette.

De tout ce qui précède, il nous paraît résulter nettement que le golfe d'Aigues-Mortes présente une rade naturelle sûre, abritée des vents du large, de la grosse mer et des courants littoraux; — que les atterrissements ne s'y produisent pas ou ne peuvent s'y produire en quantité notable,

et sont dans tous les cas beaucoup moindres que sur tous les points voisins de la côte ; — que les conditions d'entrée et de sortie pour les navires y sont exceptionnellement favorables ; — et qu'il y aurait dès lors très-peu à faire pour achever l'œuvre commencée par la nature et créer ainsi sur cette partie du littoral un avant-port de refuge dont le chiffre malheureusement assez élevé des sinistres maritimes, dans cette partie du golfe de Lion, fait ressortir mieux que beaucoup de paroles l'impérieuse nécessité.

Août 1870.

N° 6

EXPLOSION D'UNE CHAUDIÈRE A VAPEUR

AU PUITS MONTERRAD N° 2 DE LA CONCESSION DE FIRMINY (LOIRE).

Avis de la commission centrale des machines à vapeur.

Dans sa séance du 7 septembre 1871, à laquelle assistaient:

MM. COMBES, président;
JACQMIN, membre;
CALLON, rapporteur;
CLÉRY, secrétaire;

la commission centrale des machines à vapeur, sur le renvoi fait par Monsieur le ministre des travaux publics, en date du 21 août 1871, a pris connaissance des pièces concernant l'explosion d'une chaudière à vapeur, au puits Monterrad n° 2, de la concession de Firminy (Loire), et elle a entendu la lecture du rapport suivant, rédigé par M. l'ingénieur en chef des mines, rapporteur.

RAPPORT.

Le 16 janvier dernier, le puits Monterrad n° 2, de la concession de Firminy (Loire), a été le théâtre d'une explosion de chaudière à vapeur qui a causé la mort de trois ouvriers.

Le ministre des travaux publics a transmis à la commission centrale des machines à vapeur, pour examen et avis, le rapport de MM. les ingénieurs, dont un double a été adressé à M. le procureur de la République à Saint-Étienne.

Il résulte de ce rapport que la chaudière, dont un des bouilleurs a fait explosion, appartient à un groupe de quatre générateurs dont trois sont en feu à la fois, le quatrième étant en réparation ou en nettoyage. La chaudière qui a éclaté était précisément celle qui avait été nettoyée la semaine précédente ; elle n'avait d'ailleurs que trois ans et demi de service, elle était en bon état, munie de tous ses appareils de sûreté, convenablement réglés et entretenus. Rien n'indique que la chaudière ait été mal conduite, et notamment qu'elle ait manqué d'eau, bien que l'accident se soit produit au moment où l'on venait d'ouvrir le robinet d'alimentation de cette chaudière.

Le bouilleur recevant l'eau d'alimentation s'est fendu suivant une section droite, les deux parties séparées ont été projetées en sens contraire, en démolissant une partie du fourneau.

Les trois chauffeurs, renversés sous les débris, ont été violemment brûlés par le jet de vapeur et surtout par l'eau bouillante, et ont tous trois succombé à leurs blessures, après une cruelle agonie de quelques jours.

MM. les ingénieurs se sont attachés à rechercher les causes d'un accident aussi fâcheux par ses suites, survenu sur un appareil qui semblait au premier abord dans des conditions parfaitement régulières et rassurantes. Voici leur explication.

Chaque générateur est formé d'un corps cylindrique et de deux bouilleurs réchauffeurs *à chauffage progressif*, chauffés successivement après le corps cylindrique, selon le système introduit par M. Farcot ; seulement les bouilleurs, au lieu d'être placés latéralement, sont, sans doute en vue de ménager l'espace, placés au-dessous du corps cylindrique et tous deux au même niveau. La flamme du foyer passe sous le corps cylindrique, revient de l'arrière à l'avant en enveloppant le bouilleur n° 1, et retourne à l'arrière en enveloppant le bouilleur n° 2. L'alimentation

se fait à l'arrière de ce dernier bouilleur. La communication entre les bouilleurs est à l'avant, la vidange se fait également par l'avant, et pour la rendre plus facile et plus complète, l'ensemble des deux bouilleurs a reçu une faible pente de l'arrière à l'avant. En outre la communication entre ces bouilleurs, qui ont 0m,68 de diamètre, n'a que 0m,50 de diamètre extérieur. Cette disposition est vicieuse, elle permet à l'air dégagé de l'eau sous la première impression de la chaleur, de rester dans le bouilleur n° 2, et MM. les ingénieurs ont calculé que plus du quart de la surface de chauffe de ce bouilleur (soit près de 7 mètres quarrés), pouvait être habituellement hors du contact de l'eau d'alimentation.

On avait là en quelque sorte en permanence une situation analogue à celle qu'on a dans un générateur où l'on a laissé accidentellement le plan d'eau baisser en dessous du sommet des carneaux.

On sait que, dans ce dernier cas, une alimentation intempestive, en déterminant un mouvement dans la masse d'eau, et une projection sur des parois surchauffées, est souvent la cause déterminante de l'explosion. Il en a été ainsi, et par les mêmes motifs, dans l'accident qui nous occupe.

MM. les ingénieurs relèvent avec raison la mauvaise disposition adoptée lors du montage des chaudières du puits Monterrad.

Il est évident que, dans tout générateur établi pour chauffer l'eau progressivement, en la faisant circuler dans une série de capacités, chacune de celles-ci doit être établie de manière à ne pouvoir devenir un réservoir d'air ou de vapeur, et il faut pour cela deux conditions : d'abord que la communication d'une capacité à la suivante ait lieu par une tubulure placée tout à fait à la partie supérieure de la première, et en second lieu; que tous les éléments de la surface supérieure de cette capacité aient une certaine inclinaison montante vers cette tubulure.

Les chaudronniers qui installent des chaudières ne se préoccupent pas toujours suffisamment de ces conditions.

L'accident de Firminy montre les conséquences possibles d'une installation vicieuse à cet égard.

Je pense donc qu'il serait utile de faire connaître au public, par une insertion dans les *Annales des mines et des ponts et chaussées*, les rapports de MM. les ingénieurs, ainsi que l'avis de la commission centrale.

Telle est, selon moi, la seule mesure que l'administration ait à prendre à l'occasion de cet accident, puisque d'ailleurs la justice a été saisie.

CALLON.

Avis de la commission.

La commission, après en avoir délibéré, approuvant les observations contenues dans le rapport qui précède, en adopte les conclusions.

L'ingénieur des mines, secrétaire,
H. CLÉRY.

L'inspecteur général des mines, président de la commission,
Ch. COMBES.

Avis de M. TOURNAIRE, *ingénieur en chef.*

La cause de l'explosion de la première chaudière du puits Monterrad n° 2 est bien celle que signale M. l'ingénieur Gonthier, un vice de construction qui produisait un réservoir d'air dans la partie supérieure du bouilleur d'alimentation, et par suite une surface non mouillée au contact des flammes.

Le dessin de la chaudière à grande échelle (Pl. 5, *fig.* 1, 2 et 3), montre quelle était l'importance de ce défaut.

Les deux bouilleurs, d'un diamètre de 0m,68, étaient réunis à l'avant par une seule communication en tôle de 0m,50 de diamètre intérieur; ce qui, en tenant compte de l'épaisseur, laissait en cet endroit dans le bouilleur d'alimentation, un vide de 82 millimètres de flèche. La flèche

était plus grande à l'extrémité postérieure, parce que le bouilleur avait une légère inclinaison, qui relevait de 8 centimètres le fond bombé voisin du registre. Cette disposition, irrationnelle au point de vue de la sécurité et de la circulation de l'eau, avait été adoptée pour la facilité de la vidange. Il en résultait que la surface intérieure non rafraîchie par le contact immédiat de l'eau pouvait s'élever à 27 p. 100 de la surface cylindrique totale, soit à 7 mètres quarrés $\frac{3}{4}$ environ.

Le faible diamètre des deux communications, qui reliaient, l'une les deux bouilleurs entre eux, l'autre le premier bouilleur à la chaudière, étaient d'ailleurs un grand obstacle au prompt dégagement de la vapeur qui pouvait se former brusquement sur la paroi suréchauffée, lorsque la surface de l'eau était agitée.

En réinstallant la chaudière qui avait éclaté, les exploitants des mines de Firminy ont établi trois jonctions entre chacun des bouilleurs neufs et le corps principal. Quant aux autres chaudières du même massif, ils ont fait communiquer par un tuyau l'extrémité postérieure du bouilleur d'alimentation de chacune d'elles avec le corps principal, de manière à assurer l'évacuation constante de l'air ou de la vapeur.

J'estime, comme M. Gonthier, que le malheureux accident du 16 janvier ne doit pas occasionner de poursuites judiciaires.

Saint-Étienne, le 4 août 1871.

Rapport de M. GONTHIER, *ingénieur ordinaire des mines.*

La machine d'extraction du puits Monterrad n° 2 est alimentée par un massif de quatre chaudières situé à côté du bâtiment du puits. Les chaudières, composées chacune

d'un corps cylindrique et de deux bouilleurs, sont placées parallèlement au bâtiment, ainsi que l'indiquent le plan et les coupes de la Pl. 5, *fig.* 4, 5, 6 et 7.

Le 16 janvier, les trois chaudières 1, 3 et 4 marchaient ensemble (la chaudière n° 2 étant arrêtée pour cause de nettoyage), lorsque vers neuf heures et demie du matin, au moment où le chauffeur Grand (Antoine) venait d'ouvrir le robinet d'alimentation de la chaudière n° 1, l'un des bouilleurs de cette chaudière, celui qui est le moins chauffé et qui reçoit l'eau froide, se déchira suivant une section un peu inclinée. Le bout extrême qui était libre fut lancé en arrière et s'enfonça dans le registre qui ferme l'entrée de la cheminée. La partie d'avant se déplaça en sens inverse et se souleva, entraînant avec elle le deuxième bouilleur et le corps cylindrique, et renversant tout le massif soit en avant, soit du côté du bâtiment du puits (Voir *fig.* 8 et 9). Jetés violemment à terre et plus ou moins recouverts de débris brûlants, les trois chauffeurs furent surtout épouvantablement brûlés par l'eau chaude qui se répandit autour d'eux. Ils succombèrent à leurs blessures quelques jours plus tard à l'hôpital de la compagnie. Voici les noms de ces trois malheureuses victimes.

Grand (Antoine), 35 ans, marié, père de 3 enfants en bas âge.

Bonnavion (Pierre), 46 ans, marié, père de 4 enfants dont l'aîné âgé de 20 ans.

Dufour (Jean), 44 ans, veuf avec un enfant de 14 ans, remarié avec une veuve mère de 2 enfants.

Outre la rupture du bouilleur suivant une section presque droite, des déchirures s'étaient produites dans la tôle, soit à la communication du deuxième bouilleur avec le premier, soit à celle de ce dernier avec le corps cylindrique. Ces déchirures s'expliquent aisément par le mouvement déterminé par la partie antérieure du bouilleur. On s'explique de même comment le soulèvement produit par

l'explosion a renversé le massif sur le côté, par l'action du gros tube en fonte qui servait à réunir la vapeur des chaudières en feu.

Un bouilleur ne peut manquer d'eau tant qu'il en reste dans le corps cylindrique, et aucun indice ne portait à croire que la tôle du corps cylindrique eût rougi, néanmoins on se demanda tout d'abord si l'explosion n'était pas due à un défaut d'alimentation. Cette hypothèse ne tarda pas à être abandonnée devant l'examen des faits, et devant les déclarations des blessés, jointes à celles des chauffeurs de nuit, dont les premiers avaient pris la place trois heures avant l'accident. Au contraire il fut nettement établi que la chaudière était pleine d'eau, qu'elle était munie des appareils indicateurs du niveau (tube de verre, robinets, flotteur d'alarme), et que ces appareils fonctionnaient bien, enfin que les soupapes n'étaient pas surchargées et que la pression de la vapeur était la pression ordinaire de marche, à savoir 3 atmosphères $\frac{1}{2}$. En un mot rien absolument n'est à reprocher aux personnes chargées de la conduite des chaudières.

La chaudière ne datait que de trois ans et demi ; au moment de l'accident, il n'y avait que huit jours qu'elle avait été remise en feu après nettoyage. Le bouilleur était propre. Sur la ligne de déchirure, on ne remarquait aucun défaut apparent ; la tôle avait conservé sensiblement son épaisseur primitive de 8 millimètres. Cette épaisseur avait été calculée d'après la formule $e = 1,8\,(n-1)\,d + 3$, pour une pression de 5 atmosphères, supérieure à la pression ordinaire de marche. Les soupapes étaient réglées pour cette pression de 5 atmosphères.

Un calcul approximatif donne pour les tensions que la tôle éprouvait à 5 atmosphères : $1^{k},76$ par millimètre quarré le long de la génératrice, et $0^{k},87$ le long de la section droite. Or des essais faits à Terrenoire pour déterminer la résistance à la traction de la tôle de la chaudière

dans le voisinage de la section de rupture ont donné les résultats suivants :

				Limite d'élasticité.	Charge de rupture.	Allongement p. 100.
				kilog.	kilog.	
Barre de 20 centim. de long sur 3 centim. de large.	Essai pris suivant la génératrice.	Rupture parallèle à la section droite.	Sens en travers du laminage.	»	23.8	0.7
	Essai pris suivant la circonférence.	Rupture parallèle à la génératrice.	Sens en long du laminage.	22.5	30.2	6.5

Ces résultats indiquent une tôle de qualité médiocre, mais qui toutefois présentait une résistance largement suffisante pour l'usage auquel elle était employée.

Ainsi la cause de l'explosion restait obscure. Elle a depuis lors apparu clairement.

La cause de l'explosion réside dans la manière vicieuse dont la communication était établie entre les deux bouilleurs ; voulant utiliser la chaleur aussi bien que possible, on avait fait communiquer avec le corps cylindrique le premier bouilleur seulement et seulement par un bout ; à l'autre bout ce premier bouilleur était relié au deuxième par une communication horizontale, et ce deuxième bouilleur recevait l'eau à son extrémité opposée. De cette façon, les flammes chauffant d'abord la chaudière d'avant en arrière, puis le premier bouilleur d'arrière en avant, et enfin le deuxième bouilleur d'avant en arrière, on assurait à l'eau une circulation rigoureusement inverse. Malheureusement on n'avait pas songé à étudier les communications des bouilleurs entre eux et avec la chaudière, et l'inclinaison de chaque bouilleur en vue d'empêcher qu'il y pût rester de l'air. Le deuxième bouilleur étant horizontal, et communiquant avec le premier à son extrémité antérieure par un tube rond qui laissait au-dessus de sa génératrice supérieure une flèche d'environ

12 centimètres, l'air pouvait s'accumuler dans tout le segment déterminé par cette flèche à la partie supérieure du bouilleur, et même dans un segment un peu plus grand si l'on tient compte de l'effet produit par la capillarité. Or l'eau froide poussée par un giffard contient toujours de l'air en dissolution, et cet air se dégage avant la température de 100 degrés. L'air devait donc s'accumuler dans le deuxième bouilleur, et ainsi la partie supérieure de ce bouilleur étant touchée par les flammes, pouvait arriver, sinon au rouge, du moins à une température de plusieurs centaines de degrés. En cet état, un mouvement tumultueux de l'eau produit par une cause quelconque, principalement par le jeu de l'alimentation, devait amener une brusque production de vapeur. D'où l'explosion.

La catastrophe de Firminy doit servir d'instruction pour l'avenir. Voici, entre autres, les règles dont elle montre l'utilité :

1° Disposer chaque communication de telle sorte que la section qu'elle détermine sur le cylindre d'où elle part, coupe la génératrice supérieure de ce cylindre ;

2° Donner aux bouilleurs et aux communications une inclinaison suffisante pour qu'en aucun point un effet de capillarité ne puisse faire stationner l'air ;

3° Emboîter les feuilles de tôle l'une dans l'autre dans le sens que doit suivre l'eau, c'est-à-dire dans le sens de l'inclinaison montante ;

4° Lorsque les communications ne sont pas placées exactement à l'extrémité des bouilleurs, adapter au sommet de ces parties extrêmes, où l'air pourrait s'amasser, un tube montant qui ira déboucher, soit dans un bouilleur supérieur, soit dans la chaudière, soit dans la communication voisine ;

5° Quand on se sert de manchons en fonte pour relier un cylindre avec un tube de communication, fixer les tôles en dedans du manchon et non le manchon en dedans des tôles,

attendu que cette dernière disposition laisserait nécessairement une partie rentrante qui retiendrait de l'air. Ce dernier point est signalé, quoiqu'il n'y ait point de parties en fonte dans les chaudières de Firminy, à cause d'un fait constaté tout récemment sur un bouilleur d'une chaudière de Montrambert.

Dans ce bouilleur, établi dans des conditions analogues à celui de Firminy, la tôle a été rongée très-rapidement sur une certaine largeur le long de la génératrice supérieure, probablement parce qu'un manchon en fonte placé à un bout en dedans des tôles permettait à l'air de stationner dans la partie supérieure, et qu'ainsi cette partie s'est trouvée soumise à une série de petits coups de feu.

Saint-Étienne, le 16 mars 1871.

N° 7

RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX.

Calcul des dimensions des dalles employées en couverture d'aqueducs.

NOTE

Par M. DECOMBLE, ingénieur en chef des ponts et chaussées (*).

I. Pour étudier, au point de vue exclusif de la pratique des travaux, la résistance des matériaux soumis à un effort tendant à produire la rupture par flexion, nous avons choisi la fonte coulée en sable parfaitement sec (ou en moule étuvé), avec parois minces et toutes de même épaisseur, c'est-à-dire une matière à cassure franche, capable de recevoir toutes les formes utiles, et, peut-être, plus que toute autre homogène.

Ayant eu l'occasion de nous servir des résultats de nos recherches, à propos du projet d'un viaduc en fonte à construire par-dessus le chemin de fer de Paris à Strasbourg, M. le ministre des travaux publics nous a donné l'ordre, sur l'avis du conseil général des ponts et chaussées, de soumettre à la commission des *Annales* le compte rendu sommaire de nos expériences.

En conséquence, nous les avons complétées, et nous avons rédigé deux notes insérées aux *Annales* sous le n° 154

(*) Voir *Annales*, 1857, 2e semestre, page 257, et 1867, 1er semestre, page 460.

du tome XIV (année 1857) et le n° 184 du cahier de mai et juin 1867.

II. Il en résulte, notamment, que :

1° Si l'on considère une série continue de poutrelles en fonte, ayant une même portée entre les appuis, une hauteur de profil transversal constante, une épaisseur uniforme pour toutes les parois, toujours la même somme totale de longueur de parois, toutes moulées en sable parfaitement sec et avec même hauteur de coulée, la pièce la plus résistante, entre toutes, à la rupture complète et instantanée, c'est-à-dire celle qui se rompt simultanément par compression et par étirement, a la zone neutre (ou le lieu géométrique des fibres qui ne sont ni comprimées ni étirées pendant la flexion) précisément au milieu de la hauteur de chaque profil transversal, indépendamment de toute symétrie de ce profil relativement à cette zone invariable; et, dans toutes les autres pièces, la même zone s'éloigne toujours davantage de la fibre qui tend à céder la première, au fur et à mesure que la résistance de la poutre s'amoindrit : de manière que, *dans toute pièce fléchie, la fibre comprimée et la fibre tendue qui se trouvent,* l'une et l'autre, *à l'unité de distance de la zone neutre,* développent des réactions élastiques toujours *dans le même rapport que les résistances-limites de la matière à la rupture par compression et par étirement.*

2° Les limites des résistances à la rupture instantanée qui sont développées par la flexion, tant par suite de compression que par suite d'étirement, se trouvent, à des erreurs négligeables près, *identiques à celles développées par compression et par étirement directs,* c'est-à-dire exercées dans le sens même des fibres.

3° L'expérience et le calcul réunis conduisent à admettre que, encore à des erreurs négligeables près, les réactions élastiques varient toujours proportionnellement à la charge qui tend à produire la flexion, *même lorsque cette*

charge croît depuis celle capable de rompre ce qu'il convient d'appeler désormais l'élasticité de la matière, *jusqu'à la charge déterminant la rupture totale et instantanée.*

4° Les formules de Navier *sont*, en conséquence, *parfaitemet applicables jusques et y compris cette dernière rupture.*

III. En résumé, l'hypothèse que dans toute pièce fléchie, la fibre comprimée et la fibre tendue situées à l'unité de distance de la zone neutre, développent des réactions élastiques qui sont dans le même rapport que les résistances-limites de la matière à la rupture instantanée par compression et par étirement,

1° Explique absolument tous les phénomènes constatés par expérience sur la résistance à la rupture complète et instantanée des pièces droites soumises à la flexion;

2° Fait retrouver, en toute circonstance, la valeur exacte des coefficients de résistance à la rupture par compression et par étirement; puis, la résistance correspondante dont est capable une pièce quelconque, donnée par sa forme et les coefficients applicables à la matière dont elle est faite;

3° Se trouve dans un complet accord avec la pratique des travaux (qui conduit à utiliser sous les charges tranquilles, jusqu'à un tiers de la résistance de certains matériaux à la rupture complète et instantanée), et avec les expériences délicates de M. Wertheim et d'autres savants expérimentateurs, démontrant, de la façon la plus claire, que la moindre charge entraîne une déformation permanente de la matière et par conséquent altère son élasticité; que la matière possède en quelque sorte autant d'états élastiques différents qu'on lui fait supporter de charges différentes, jusqu'à une certaine limite, impossible à déterminer nettement, mais à partir de laquelle la pièce, contrainte à supporter les efforts qui en sont la conséquence, se rompt au bout d'un intervalle de temps trop court pour être accepté; ou plus

explicitement, que toute charge aussi petite qu'elle soit, même réduite au propre poids de la matière, est capable d'entraîner la rupture pourvu que la durée de l'épreuve se trouve assez prolongée. (Voir la brochure de M. l'inspecteur général des mines, Couche, intitulée : *Analyse et discussion des nouvelles expériences faites, notamment en Angleterre, sur la résistance du fer, de la fonte et de quelques autres matériaux.*)

Il est évident, d'ailleurs, que telle est l'explication, à la fois nécessaire et suffisante, de l'affaissement, à la suite des siècles, des masses, cependant si puissamment résistantes, des constructions antiques les mieux à l'abri de l'action des intempéries.

IV. Toutefois, la commission des *Annales* ne pouvait que faire ressortir par une note, combien les conclusions de nos expériences se trouvaient contraires aux principes jusqu'alors généralement admis.

Contraint d'arriver, aujourd'hui, au calcul des dimensions des dalles employées en couverture d'aqueducs, il faut bien faire disparaître la dernière objection opposée à l'hypothèse constamment indiquée, et en quelque sorte formulée par ces expériences.

En définitive, quelle raison a donc pour elle, l'hypothèse si peu vraisemblable à premier examen et cependant si uniformément adoptée, que la force de réaction élastique sous un poids donné, est toujours la même à la compression et à l'étirement, lors même que la résistance à la rupture instantanée par compression serait, comme dans la fonte, par exemple, triple de la résistance à la rupture par traction ? On dit :

1° Si l'on fait reposer librement sur deux appuis, une barre à section triangulaire isocèle, d'abord sur la base de la section, puis sur l'arête au sommet, et que, dans chacun de ces cas on charge cette barre d'un poids constant placé en son milieu, on obtient des flèches égales : $f = f'$ (*fig.* 1 et 2);

2° L'équation conduisant à la valeur de la flèche est, savoir :

Dans le premier cas :

$$(1)\ldots \qquad \frac{E_1 \int_0^u du \int_0^b v^2 dv + E_2 \int_0^{a_1} du \int_0^{b_1} v^2 dv}{\rho} = P(l-x).$$

E_1 et E_2 étant les modules de l'élasticité à l'écrasement et à la traction, ρ le rayon de courbure de l'axe neutre situé à la distance x du point d'encastrement ; l, la longueur totale de la barre depuis l'encastrement jusqu'au point d'application de la force P qui sollicite la pièce ;

Dans le second cas :

$$(2)\ldots \qquad \frac{E_1 \int_0^{a_1} du \int_0^{\beta} v^2 dv + E_2 \int_0^{a} du \int_0^{\beta_1} v^2 dv}{\rho'} = P(l-x),$$

en joignant, toutefois, les conditions :

$$(3)\ldots \qquad E_1 \int_0^a du \int_0^b v dv = E_2 \int_0^{a_1} du \int_0^{b_1} v dv,$$

$$(4)\ldots \qquad E_1 \int_0^{a_1} du \int_0^{\beta} v dv = E_2 \int_0^{a} du \int_0^{\beta_1} v dv,$$

(5)... $b + b_1 = h$, épaisseur donnée de la dalle,

$$(6)\ldots \qquad \beta + \beta_1 = h.$$

3° En supposant $E_1 = E_2$ (condition que nous avons traduite plus haut en langage ordinaire, et qui aurait certes bien besoin d'être démontrée directement), les conditions (3) et (4) font voir que, dans l'un et l'autre cas, l'axe neutre n'est autre chose que le lieu géométrique des centres de gravité des sections transversales ; donc que cet axe est invariable ;

4° Dès lors on a $\beta = b_1$, $\beta_1 = b$, et, par conséquent :

$$(E_1 = E_2)\left(\int_0^a du \int_0^b \nu^2 d\nu + \int_0^{a_1} du \int_0^{b_1} \nu^2 d\nu\right) = (E_1 = E_2)\left(\int_0^a du \int_0^{\beta} \nu^2 d\nu + \right.$$

$$\left. + \int_0^a du \int_0^{\beta_1} \nu^2 d\nu\right).$$

5° Les numérateurs des premiers membres des égalités (1) et (2) étant identiques, et le second membre demeurant constant, on en déduit $\rho = \rho'$: donc $f = f'$, conformément à l'expérience ;

6° Par conséquent l'hypothèse $E_1 = E_2$, de laquelle on est parti, expliquant le phénomène $f = f'$, commun à toutes les pièces fléchies, est une hypothèse rigoureusement exacte ; et, toujours, l'axe neutre est le lieu géométrique des centres de gravité de toutes les sections transversales.

V. Comme $E_1 = E_2$ conduit directement à autant de coefficients de résistance à la rupture par flexion que la pièce fléchie prend de formes différentes, quand bien même la matière demeure certainement identique, nous n'avons pas pu nous défendre d'observer que l'hypothèse $E_1 = E_2$ suffit, en effet, pour expliquer le phénomène que caractérise $f = f'$, mais qu'elle n'est probablement pas *nécessaire* à ce propos.

Nous avons donc laissé au calcul le soin de nous conduire, et voici les conclusions qui paraissent en découler rigoureusement :

Si nous appelons R_1 la limite de la résistance à la rupture de l'élasticité par compression, et R_2 la limite analogue pour l'étirement.

Si nous supposons les prismes des *fig.* 1 et 2 en fonte et avec des dimensions telles que le prisme de la *fig.* 1 se rompe d'abord par son arête écrasée (ce qui est certaitainement possible), et celui de la *fig.* 2 d'abord par

l'arête soumise à la traction (ce qui est, à plus forte raison, possible),

Si nous supposons, de plus, que P représente la charge capable de déterminer la rupture du prisme de la *fig.* 2, charge nécessairement inférieure à celle capable d'entraîner la rupture du prisme de la *fig.* 1 (la fonte résistant trois fois autant à la compression qu'à l'étirement),

On sera certain, d'avance, qu'au moment où l'arête du prisme de la *fig.* 2 se brisera, la fibre la plus écrasée de ce même prisme subira un effort plus petit que R_1, égal, par exemple, à $\frac{R_1}{\alpha_1} = R_1'$,

Et la même charge P ne fera supporter à la fibre la plus comprimée dans le prisme de la *fig.* 1, qu'un certain effort $\frac{R_1}{m}$; et, par conséquent aussi, à la fibre la plus tendue, qu'un effort $\frac{R'_2}{m} = \frac{1}{m}\frac{R_2}{\alpha_1}$.

On aura, par suite, les deux équations connues :

Dans le cas de la *fig.* 1 :

$$(1)' \ldots \quad \frac{R_1}{mb}\int_0^a du \int_0^b v^2 dv + \frac{R'_2}{mb_1}\int_0^{a_1} du \int_0^{b_1} v^2 dv = P(l-x);$$

et dans le cas de la *fig.* 2 :

$$(2)' \ldots \quad \frac{R'_1}{\beta}\int_0^{a_1} du \int_0^{\beta} v^2 dv + \frac{R_2}{\beta_1}\int_0^{a} du \int_0^{\beta_1} v^2 dv = P(l-x).$$

Dès lors, en comparant (1) et (1)', (2) et (2)', il vient nécessairement :

$$\frac{E_1}{\rho} = \frac{R_1}{mb}, \quad \frac{E_2}{\rho} = \frac{R'_2}{mb_1} = \frac{R'_2}{m(h-b)} = \frac{R_2}{m\alpha_2(h-b)},$$

$$\frac{E_1}{\rho'} = \frac{R'_1}{\beta} = \frac{R_1}{\alpha_1\beta}, \quad \frac{E_2}{\rho'} = \frac{R_2}{h-\beta}.$$

Donc pour que $\rho = \rho'$, il faut et il suffit que l'on ait :

$$mb = \alpha_1 \beta', \quad m\alpha_2(h - b) = h - \beta.$$

On en tire :

$$m\alpha_2(h - b) = h - \frac{mb}{\alpha_1}, \text{ ou } b = \frac{\alpha_1 h(1 - m\alpha_2)}{m(1 - \alpha_1\alpha_2)}; \text{ et } \beta = \frac{h(1 - m\alpha_2)}{1 - \alpha_1\alpha_2};$$

par conséquent,

$$\frac{b}{\beta} = \frac{\alpha_1}{m}, \quad \frac{\frac{1}{\beta} \cdot \frac{R_1}{\alpha_1}}{\frac{1}{b} \cdot \frac{R_1}{m}} = \frac{\frac{R'_1}{\beta}}{\frac{1}{b} \cdot \frac{R_1}{m}} = 1.$$

Mais on trouve de même :

$$\beta_1 = \frac{\alpha_2 h(m - \alpha_1)}{1 - \alpha_1\alpha_2} \text{ et } b_1 = \frac{h(m - \alpha_1)}{m(1 - \alpha_1\alpha_2)};$$

par conséquent,

$$\frac{b_1}{\beta_1} = \frac{1}{m\alpha_2}, \quad \frac{\frac{R_2}{\beta_1}}{\frac{R_2}{b_1}} = \frac{1}{m\alpha_2}, \quad \frac{\frac{R_2}{\beta_1}}{\frac{1}{b_1} \times \frac{1}{m}\left(\frac{R_2}{\alpha_2}\right)} = \frac{\frac{R_2}{\beta_1}}{\frac{1}{b_1} \times \frac{1}{m} R'_2} = 1.$$

On a donc, définitivement :

$$\frac{\frac{1}{\beta} \cdot R'_1}{\frac{1}{b} \cdot \frac{R_1}{m}} = \frac{\frac{1}{\beta_1} R_2}{\frac{1}{b_1} \times \frac{1}{m} R'_2}, \quad \text{ou bien} \quad \frac{R_1}{\frac{b}{b_1} \times R'_2} = \frac{\frac{\beta_1}{\beta} R'_1}{R_2} \quad (\gamma).$$

Mais si, dans une poutre fléchie, les fibres situées à égale distance de part et d'autre de l'axe neutre, développent à chaque instant des efforts élastiques qui sont dans le même rapport que les limites des résistances élastiques corres-

pondantes de la matière, $\frac{b}{b_1}R'_2 = R_2$ et $\frac{\beta_1}{\beta}R'_1 = R_1$, l'égalité ($\gamma$) est une identité, elle est toujours satisfaite par conséquent, et $\rho = \rho'$, $f = f'$.

De sorte que $f = f'$ se trouve tout aussi bien expliquée par l'hypothèse à laquelle l'expérience nous a toujours conduit, que par l'hypothèse $E_1 = E_2$, qui, au contraire, est radicalement en désaccord, en général, avec tous les phénomènes dont la pratique des travaux a le plus impérieux besoin de tenir compte.

En d'autres termes, $E_1 = E_2$ correspond tout simplement à un cas particulier du principe général énoncé, ce cas particulier ne se rencontrant guère, et même peut-être pas, dans la pratique ordinaire des travaux.

Par ces motifs nous laisserons de côté, dans ce qui va suivre, cette supposition $E_1 = E_2$, qui n'a pas, en ce qui concerne l'ingénieur, une raison d'être ; et nous nous confierons complétement aux formules de Navier, parfaitement applicables dans la nouvelle supposition, et même, répétons-le, *jusques et y compris l'instant de la rupture complète et instantanée.*

VI. Considérons maintenant un parallélipipède de largeur a, de hauteur ou épaisseur h, de longueur l entre les appuis, chargé de son propre poids uniformément réparti (p, par mètre linéaire) et d'un poids additionnel P posé en son milieu.

Eu égard aux résistances ordinaires tant à la compression qu'à l'étirement des pierres posées sur lit de carrière, on est généralement assuré que la rupture d'une dalle sous un effort tendant à produire la flexion, commence par la fibre la plus tendue, c'est-à-dire qu'en appelant R_1 la résistance-limite des matériaux à l'écrasement, la fibre la plus comprimée dans la dalle ne sera soumise à l'instant de la rupture qu'à un effort R'_1, fraction de R_1, alors, précisé-

ment, que la fibre la plus tendue supportera R_2, limite de résistance à la rupture par extension.

De sorte qu'en désignant par P, non plus une charge quelconque, mais celle capable d'entraîner la rupture de l'élasticité, ou bien encore la rupture complète et instantanée, on aura tout d'abord, les relations connues :

$$(1)\ldots \qquad R'_1 b^2 + R_2 b_1{}^2 = \frac{3}{a} \times \left[\frac{p}{2} x \left(l + \frac{P}{p} - x\right)\right],$$

x représentant la moindre distance entre l'un des appuis et l'intersection de la section de cassure avec les plans supérieur et inférieur de la pièce, plans constitués par les fibres les plus comprimées et les plus tendues ;

$$(2)\ldots \qquad \frac{R'_1}{R_2} = \frac{b_1}{b},$$

$$(3)\ldots \qquad b + b_1 = h,$$

épaisseur de dalle connue et invariable par hypothèse.

Supposons x déterminée par expérience, et soit :

$$K = \frac{p}{2} \times x \times \left(l + \frac{P}{p} - x\right).$$

On a d'autre part, d'après l'hypothèse actuellement vérifiée d'une manière complète et qui sert de base à la théorie et à l'établissement des formules de Navier :

$$R_1 = R'_1 \times \frac{b_1}{b}.$$

Donc :

$$R'_1 = R_1 \times \frac{b}{b_1};$$

et, par la relation (2) :

$$R_2 = R_1 \times \left(\frac{b}{b_1}\right)^2.$$

Substituant dans l'équation (1), il vient :

$$(1)' \ldots \qquad \frac{b^2}{b_1} = \frac{3}{a} \cdot \frac{K}{h \cdot R_1};$$

puis :

$$(2)' \ldots \qquad R_2 = R_1 \times \left(\frac{b}{b_1}\right)^2,$$

relation faisant voir que l'axe neutre ne peut jamais se trouver sur l'une des faces horizontales de la dalle (car si, par exemple, on pose $b = 0$, on a : $\frac{R_1}{R_2} = \infty$, ce qui est absurde); et enfin :

$$(3)' \ldots \qquad b + b_1 = h,$$

dans lesquelles relations R_1 peut être considérée comme déterminée d'avance par une expérience directe, c'est-à-dire par l'écrasement préalable d'un petit cube de pierre.

On a, par conséquent, trois équations entre trois inconnues, et une solution complète assurée.

Il est d'ailleurs évident que tout ce qui précède serait encore vrai dans le cas où la dalle, au lieu de se rompre par la fibre la plus tendue, se romprait au contraire par la fibre la plus écrasée.

VII. Il en résulte que, si l'on veut déterminer R_2, les équations précédentes se transforment dans les suivantes :

$$(1)'' \ldots \quad b = -\frac{1}{2h} \cdot \frac{3K}{aR_1} + \sqrt{\frac{3K}{aR_1} + \left(\frac{1}{2h} \cdot \frac{3K}{aR_1}\right)^2},$$

$$(2)'' \ldots \qquad b_1 = h - b,$$

$$(3)'' \ldots \qquad R_2 = R_1 \times \left(\frac{b}{b_1}\right)^2.$$

VIII. Et si l'on veut la relation constante qui existe entre

les dimensions variables des dalles (a, h et l), on trouve :

$$(1)''' \ldots\ b = h \times \left(\frac{1}{1+\sqrt{\frac{R_1}{R_2}}} \right),$$

$$(2)''' \ldots\ b_1 = h \times \left(\frac{\sqrt{\frac{R_1}{R_2}}}{1+\sqrt{\frac{R_1}{R_2}}} \right),$$

$$(3)''' \ldots\ a = \frac{1}{h^2} \times \left[\frac{p}{2}\, x \times \left(l + \frac{P}{p} - x \right) \right] \times \left[\frac{3}{R_1} \sqrt{\frac{R_1}{R_2}} \times \times \left(1 + \sqrt{\frac{R_1}{R_2}} \right) \right];$$

de sorte que a ne varie pas, en général, proportionnellement à l, mais toujours d'une manière inversement proportionnelle à h^2.

IX. *Applications numériques à l'effet de déterminer les coefficients de résistance des dalles extraites dans les ardoisières de Lourdes (Hautes-Pyrénées).* — Nous avons constitué un appareil composé de deux poteaux en chêne fixés verticalement d'une manière invariable sur une forte semelle en charpente, leurs faces posées parallèlement ; et dont les extrémités supérieures, dérasées dans un même plan horizontal, portaient deux couteaux en fer dont les tranchants se trouvaient à ($0^m,506$) l'un de l'autre.

La poutrelle en pierre et à section rectangulaire que l'on voulait essayer, se trouvait posée bien d'aplomb sur les deux couteaux, à l'aide de coussinets formés de plusieurs feuillets de papier superposés. Puis, sur le milieu même de la poutrelle (préalablemement repéré avec soin, ainsi que les lignes de pose sur couteaux), on plaçait un cylindre creux en fer, dont l'arête de contact était amenée aussi exactement que possible en ce milieu.

Deux chaînes suspendaient un plateau aux deux bouts

du cylindre ; on posait une planche assez longue sur ce plateau, pour donner une large assiette à la charge d'épreuve ; et, enfin, on accumulait des poids sur cette plate-forme, successivement, lentement, sans secousses sensibles, en ayant soin de terminer la charge par écoulement de grenaille de plomb dans une caisse, jusqu'à obtenir la rupture complète et instantanée.

Toutes les cassures obtenues dans les prismes en ardoises de Lourdes, sont lamellaires, en quelque sorte nerveuses comme celles de certains fers, ce phénomène étant d'ailleurs très-fortement accusé, bien davantage que dans le cas des meilleures fontes. Aucune de ces cassures n'est franche, normale à la longueur de la pièce, et placée juste en son milieu : toutes au contraire sont obliques (ce qui semble indiquer des défauts d'homogénéité), en quelque sorte à cheval sur la section médiane, jamais très-allongées.

De plus, une des pièces a été posée sur les couteaux, dans un sens perpendiculaire au lit de carrière, et les trois autres sur ce lit précisément.

Un fait remarquable a jailli en quelque sorte de la rupture de la première des poutrelles posées sur lit de carrière (*fig.* 3) : c'est le détachement d'une forte esquille angulaire, dont la base appartenait à la face supérieure ou comprimée de la pièce, et dont le sommet se trouvait très-rapproché de la zone neutre, la cassure se continuant par une surface unique à travers les fibres soumises à l'étirement.

En se reportant, en effet, aux formes de rupture indiquées dans la *fig.* 5, jointe à la note sur les meilleures formes à donner aux poutres droites en fonte, n° 154 du tome XIV des *Annales* (année 1857), on voit que cette circonstance indique, de la manière la plus précise, une cassure commençant par la rupture de la fibre la plus comprimée : donc, pour le cas actuel d'une pièce à section rectangulaire, une résistance de la matière moindre à l'é-

crasement qu'à la traction. Quant aux trois autres épreuves, elles laissent bien voir une tendance analogue, soit par des esquilles détachées le long de l'intersection de la surface de cassure avec la face supérieure de la poutrelle, soit par des fissures plus ou moins apparentes dans les faces latérales, mais le phénomène ne s'y montre pas nettement accusé, irrévocable, comme dans la précédente expérience : toutefois, comme toutes les barres avaient été sciées dans un même bloc, il fallait bien s'attendre d'avance à voir le calcul confirmer cette conséquence de la texture nerveuse ou lamellaire de l'ardoise, que ladite pierre résiste davantage à la traction qu'à la compression.

En ce qui concerne les flèches de rupture, elles ont varié de $1^{mm},5$ à 2 millimètres, et ne commençaient à devenir apparentes qu'après la charge de 75 kilogrammes, dans les expériences A1°, A3° et B ci-dessous, et après 150 kilogrammes dans A_2°.

A. Rupture de l'ardoise posée sur son lit de carrière (*fig.* 3):

1° La première des expériences de cette espèce correspond à

$$l = 0^{m}.506,\ x = 0^{m}.192\ (*),\ a = 0^{m}.0245,\ h = 0^{m}.025,$$

p (poids de l'unité de longueur de la poutrelle) $= 1^{k},715$, P (poids additionnel déterminant la rupture par sa concentration au milieu de la pièce) $= 159^{k},40$:

(*) $K = \frac{p}{2} \times \left(l + \frac{P}{p} - x\right)$; son minimum correspond évidemment à $x = 0$, et son maximum à la valeur de x fournie par la dérivée égalée à zéro : la fonction est continue d'ailleurs : donc, le minimum à considérer correspond à la moindre valeur de x résultant de la forme et de la position de la section de rupture.

$$K=\frac{1.715}{2}\times 0{,}192\times\left(0{,}506+\frac{159.4}{1.715}-0{,}192\right)=$$
$$=15{,}3541;\ \frac{1}{2h}=\frac{1}{2\times 0{,}025}=\frac{1}{0{,}05};\ \left(\frac{1}{2h}\right)^2=\frac{1}{0{,}0025},\ \frac{3K}{aR_1}=$$
$$=\frac{3\times 15.3541}{0{,}0245\times 4.010.000^2}=\frac{46{,}0623}{98245}=0{,}000.469:$$

$R = 4.010.000$ kilogrammes ayant été déterminé au moyen de la rupture par compression directe d'un petit cube de ($0^m{,}03$) de côté, en même pierre ;

$$\frac{1}{2h}.\frac{3K}{aR_1}=\frac{0{,}000.469}{0{,}05}=0{,}0094,\ \left(\frac{1}{2h}.\frac{3K}{aR_1}\right)^2=0{,}00008836,$$
$$b=-0{,}0094+\sqrt{0{,}000469+0{,}00008836}=-0{,}0094+$$
$$+0{,}0236=0{,}0142,$$
$$h_1=0^m{,}025-0{,}0142=0{,}0108;$$

et par suite :

$$R_2=4.010.000\times\left(\frac{142}{108}\right)^2=6.932.326^k.$$

Il est à observer que cette barre a été exceptionnellement fatiguée par la durée de la charge, et par les puissantes secousses reçues en pivotant deux fois sur elle-même sous cette charge : de sorte que l'expérience a été reprise deux fois, pendant que l'expérience a été franche et rapide dans les deux autres cas ci-après.

2° On a dans cette deuxième expérience (*fig.* 4) :

$l=0^m{,}506$, $x=0^m{,}21$, $a=0^m{,}0315$, $h=0^m{,}03$, $p=2^k{,}646$, $\frac{1}{2h}=\frac{1}{0{,}06}$, $\left(\frac{1}{2h}\right)^2=\frac{1}{0{,}0036}$, $P=264^k$, $K=\frac{2.646}{2}\times$

$$\times 0{,}21\times\left(0{,}506+\frac{264}{2.646}-0{,}21\right)=0{,}27783\times 100{,}06924=$$
$$=27{,}8022369492;$$

$$\frac{3K}{aR_1}=\frac{3\times 27.8022369492}{0{,}0315\times 4.010.000}=\frac{83.4067108476}{126.315}=0{,}000.660.31;$$

$$\frac{1}{2h}\cdot\frac{3K}{aR_1}=\frac{0{,}000.660{,}31}{0{,}06}=0{,}011005;\left(\frac{1}{2h}\cdot\frac{3K}{aR_1}\right)^2=0{,}00012111;$$

$$b=-0{,}011+\sqrt{0{,}00.06.60.31+0{,}00.01.21.11}=-0{,}011+$$
$$+\sqrt{0{,}00.07.81.42}=-0^m{,}011+0{,}028=0^m{,}017;$$
$$b_1=0^m{,}030-0^m{,}017=0^m{,}013,$$
$$R_2=4.010.000^k\times\left(\frac{17}{13}\right)^2=4.010.000^k\times\frac{289}{169}=6.857.337^k:$$

valeur assez peu différente de la précédente.

3° (*fig.* 5) :

$$l=0^m{,}506,\quad x=0^m{,}228,\quad a=h=0^m{,}028,$$
$$p=2^k{,}1952,\quad P=196^k{,}60,$$

$$K=\frac{2.1952}{2}\times 0{,}228\times\left(0^m{,}506+\frac{196{,}60}{2.1952}-0{,}228\right)=$$
$$=22{,}48197,\ \frac{1}{2h}=\frac{1}{0{,}056},\quad\left(\frac{1}{2h}\right)^2=\frac{1}{0{,}003136}.$$
$$\frac{3K}{aR_1}=\frac{3\times 22.48197}{0{,}028\times 4.010.000^k}=\frac{67.4450}{112.280}=0{,}000.601;$$
$$\left(\frac{1}{2h}\cdot\frac{3K}{aR_1}\right)=0{,}01073;\quad\left(\frac{1}{2h}\cdot\frac{3K}{aR_1}\right)^2=0{,}000.115;$$
$$b=-0{,}01075+\sqrt{0{,}000.601+0{,}000.115}=-0{,}01075+$$
$$+0{,}0268=0{,}016;$$
$$b_1=0^m012;\quad R_2=4.010.000^k\times\left(\frac{16}{12}\right)^2=7.128.889^k.$$

Or la moyenne des trois valeurs précédentes de

$$R_2=\frac{7.128.889^k+6.857.337^k+6.932.326^k}{3}=6.972.851^k.$$

Soient donc, en nombres ronds :

$$R_1=4.000.000^k,$$
$$R_2=7.000.000.$$

B. Rupture de l'ardoise posée de champ (fig. 6) :

$$l = 0^m,506,\quad x = 0^m,193,\quad a = 0,0275,\quad h = 0^m,028,$$
$$\text{avec } p = 2^k,156,\quad P = 191^k,30,$$

$$K = \frac{2,156}{2} \times 0,193 \times \left(0,506 + \frac{191.3}{2.156} - 0,193\right) = 18,520736,$$

$$\frac{1}{2h} = \frac{1}{0,056},\quad \frac{1}{4h^2} = \frac{1}{0,003136},\quad R_1 = 3.810.000^k.$$

(suivant expérience, le cube d'essai se trouvant placé de champ quant au lit de carrière) ;

$$\frac{3K}{aR_1} = \frac{3 \times 18,525571}{0,0275 \times 3.810.000^k} = \frac{55,576713}{104,775} = 0,000.530.4.$$

$$\frac{1}{2h} \cdot \frac{3K}{aR_1} = \frac{0,000.530.4}{0,056} = 0,00947,\ \left(\frac{1}{2h} \cdot \frac{3K}{aR_1}\right)^2 = 0,0000896809,$$

$$b = -0,00947 + \sqrt{0,0005303 + 0.0000896809} = -0,0095 + $$
$$+ 0,0249 = 0,0154,$$

$b_1 = 0^m,0126$:

$$R_2 = 3.810.000^k \times \left(\frac{154}{126}\right)^2 = 5.691.477^k.$$

X. Ainsi, dans le cas de la pose de la poutrelle sur le lit de carrière, on a :

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{4.000.000^k}{7.000.000^k} = 0,57;$$

Et dans le cas de la pose de la pierre de champ :

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{3.810.000^k}{5.691.477^k} = 0^m,67.$$

XI. *Application des données précédentes à la recherche des dimensions qu'on peut adopter pour les dalles de Lourdes*

sous les voies de chemin de fer. — On a pour $(1)'''$, dans le cas des ardoises précitées :

$$(1)^{IV} \ldots b = h \times \frac{1}{1+\sqrt{\frac{R_1}{R_2}}} = h \times \frac{1}{1+\sqrt{\frac{4}{7}}} = h \times$$

$$\times \frac{1}{1.76} = (0{,}57)\, h,$$

$$(2)^{IV} \ldots b_1 = (0{,}43)\, h.$$

$$(3)^{IV} \ldots a = \frac{1}{h^2} \times \left[\frac{p}{2} \times x \times \left(l + \frac{P}{p} - x\right)\right] \times \frac{3 \times 0{,}76 \times 1.76}{\frac{1}{10} \times 4.000.000} =$$

$$= \frac{1}{h^2} \times \left[\frac{p}{2} \times x \times \left(l + \frac{P}{p} - x\right)\right] \times 0{,}000.01.$$

1° Supposons d'abord une dalle ayant 1 mètre de portée ($l = 1$ mètre), et la largeur la plus ordinaire du commerce ($a = 0^m{,}70$) :

P sera le poids d'un demi-essieu de machine Engerth $\left(\frac{11.500^k}{2}\right)$, multiplié par le maximum du coefficient de trépidations qui résulte des expériences anglaises (3), donc

$$P = \frac{11.500}{2} \times 3 = 17.250^k;$$

p = le poids d'une bande de ballast et de matériel fixe, longue de 1 mètre et large de $0^m{,}70$, plus le poids de la partie de la dalle comprise entre les appuis (l'ardoise pesant 2.800 kilogrammes le mètre cube) =

$$= (0^m{,}70) \times \left(\frac{240^k + (0^m{,}50 \times 3^m{,}50 \times 1^m{.}00 \times 2000^k)}{3^m{,}50}\right) +$$

$$+ (1^m \times 0^m{,}70 \times h \times 2800^k) = 748 + (1960)\, h.$$

D'ailleurs $x = \frac{l}{2} = 0^m,50$: donc,

$$(0^m,70)\,h^2 = \frac{748 + (1960)\,h}{400.000} \times \left(0,50 + \frac{17250}{748 + (1960)\,h}\right) =$$
$$= \frac{748 \times (1960)\,h}{800.000} + \frac{17250}{400.000};$$

ou, après réductions :

$$h^2 - (0,0035)h = 0,0629,\quad (h - 0,00175)^2 = 0,0629 + (0,00175)^2,$$
$$h = 0,00175 + \sqrt{0,0629 + \overline{0,00175}^2} = 0,00175 + 0,25085 =$$
$$= 0^m,2526.$$

Soit donc $h = 0,25$, c'est-à-dire une cote depuis longtemps appliquée sous les chemins de fer, et vérifiée par expérience.

Toutefois, sous le chemin de fer de Lourdes à Pierrefitte, h a été portée jusqu'à $0^m,30$ pour $l = 1$ mètre, afin d'être mis à l'abri de tout accident à provenir de défauts inaperçus dans les dalles.

Il est dès lors intéressant de chercher, en supposant toujours $a = 0^m,70$, à quelle fraction des résistances R_1 et R_2 différente de $\frac{1}{10}$, correspond cette épaisseur $0^m,30$ adoptée par les constructeurs du chemin de fer de Lourdes à Pierrefitte : même indépendamment des trépidations dont il est déjà tenu compte dans le calcul, et dans le seul but d'apprécier numériquement, en quelque sorte, le défaut d'homogénéité de la pierre. Or, l'égalité $(3)^{IV}$, devient à ce propos :

$$ah^2 = \left[\frac{p}{2} \times x \times \left(l + \frac{P}{p} - x\right)\right] \times \frac{3 \times 0,76 \times 1.76}{K' \times 4.000.000};$$

$$\text{ou bien, } K' = \frac{\frac{p}{2} \times x \times \left(l + \frac{P}{p} - x\right)}{ah^2} \times (0.000.001) =$$

$$= \frac{\frac{748+(1960)(0,30)}{4} + \left[0,50 + \frac{17250}{748+(1960)(0,30)}\right]}{(1.000.000)\times 0.70 \times (0,3)^2} =$$

$$= \frac{0,0044795}{0,063} = 0,0711 : \text{soit } \tfrac{1}{15}.$$

2° Quelle plus grande portée serait-il raisonnable d'assigner à de bonnes dalles de Lourdes de *premier choix* sous les rails d'une voie de fer, en supposant à ces dalles la plus grande largeur que l'on peut obtenir avec recherche mais sans grandes difficultés (1 mètre).

Nous supposerons pour résoudre ce problème (ainsi qu'il est fait dans tous les calculs relatifs aux dimensions de résistance des voûtes en maçonnerie, et dans la plupart des questions analogues), que l'intervention des traverses et du ballast répartit la charge uniformément à bien peu près, sur toute la surface du dallage.

Dans ce cas, $(3)^{IV}$ peut s'écrire sous une forme très-simple, en considérant une tranche de dallage large de 1 mètre :

$$h^2 = \frac{pl^2}{800.000},$$

avec

$$p = \frac{11.500^k \times 3 + 240^k + (0^m,50 \times 3^m,50 \times 1^m,00 \times 2000^k)}{3^m,50} +$$
$$+ (1^m \times 1^m \times h \times 2800^k) = 10.926 + (2800)\,h.$$

$$\text{On en tire : } l = \sqrt{\frac{800.000 \times h^2}{10.926 + (2800)\,h}};$$

et comme en exploitation courante l'épaisseur h dépasse assez rarement $0^m,30$, on a pour limite de l,

$$L = \sqrt{\frac{800.000 \times 0,09}{10926 + (2800)(0,30)}} = \sqrt{6,12} = 2^m,47 \ (\textit{fig. } 7).$$

Si au lieu de supposer des dalles de premier choix (ou $\frac{1}{1}$ des coefficients R_1 et R_2), on avait admis de bonnes dalles ordinaires (ou $\frac{1}{15}$ des coefficients R_1 et R_2), on aurait trouvé:

$$h^2 = \frac{pl^2}{8} \times 0{,}000.015, \quad l = \sqrt{\frac{8h^2}{0{,}000.015 \times [10.926 + (2800)h]}},$$

et

$$L = \sqrt{\frac{0{,}72}{0{,}17649}} = \sqrt{4.0795} = 2^m{,}02.$$

Du reste, ces résultats sont vérifiés dans les circonstances ci-après : sous la route nationale n° 117, à la traversée du canal de l'Est de la plaine de Tarbes, on a construit en 1853, un pont en dalles de Lourdes avec $l = 3^m{,}80$, $h = 0^m{,}18$ à $0^m{,}22$, et $a = 0^m{,}85$ au minimum.

Or en supposant encore une charge uniformément répartie, et la plus grande que supportent normalement les ponts sous routes empierrées (c'est-à-dire la charge qui résulte d'une colonne d'infanterie en masse serrée, lancée au pas gymnastique), on a $P = 0$, et

$$p = (0^m{,}30 \times 0^m{,}85 \times 1^m{,}00 \times 2000^k)$$

pour empierrement $+ (0^m{,}85 \times 1^m{,}00 \times 0^m{,}18 \times 2800^k)$ pour dalle $+ 100^k \times 3$ (pour un fantassin chargé et au trot, par surface de $(0{,}85 \times 1^m{,}00)$: ce qui constitue une exagération) $= 1238^k{,}40$: soit 1240 kilogrammes.

Mais la relation $(3)^{IV}$ devient dans ce cas :

$$(0{,}85) \times (0{,}18)^2 = \frac{1240}{8} (0{,}000.01)\, L^2,$$

$$L = \sqrt{\frac{0{,}02754}{0{,}00155}} = 4^m{,}22,$$

en supposant des dalles de premier choix, ou bien en introduisant dans les calculs $\frac{1}{10}$ des résistances R_1 et R_2.

Et si l'on cherche la valeur de K' ou de la fraction de R_1 et de R_2 correspondante à $L = 3^m,80$, on a :

$$(0,85)(0,\overline{18})^2 = \frac{1}{K'}\left(\frac{1240}{8} \times 0,000.001 \times (3,\overline{80})^2\right).$$

$$\text{ou } K' = 0,081 : \text{soit } \frac{1^{\text{ième}}}{13}.$$

Ainsi, l'expérience de la route nationale n° 117 est probablement la moyenne entre celle que l'usage habituel du calcul conduirait à faire en posant $K' = \frac{1}{10}$, et celle qui correspond à la prudence appliquée au chemin de fer de Lourdes à Pierrefitte.

XII. *Conclusions.* — De sorte que, de toute évidence, la théorie indiquée plus haut, et les formules qui en dérivent, sont parfaitement d'accord avec les enseignements de la pratique des travaux, et, si l'expérience n'a pas encore abordé franchement les cotes de résistance qui seraient fournies par le calcul, cette circonstance est très-probablement et uniquement due aux longs tâtonnements et aux hésitations timides inséparables de toute recherche purement empirique.

XIII. *Application à la recherche de la résistance à la traction des marbres rouges de Cierp*, dits griotes, c'est-à-dire à la détermination des éléments nécessaires au calcul des cotes des dalles de ces marbres (*a* et *h*).

La densité du marbre rouge de Cierp, dit griote, est 2.965 kilogrammes.

Sa résistance minima à la rupture instantanée par compression est $R_1 = 3.080.000$ kilogrammes par mètre quarré, elle va jusqu'à 3.400.000 kilogrammes : de sorte que, dans chacun des cas particuliers qui seront considérés, il convient de discuter la valeur de R_1 applicable, eu égard à l'aspect plus ou moins homogène de la section de rupture. Il faut s'attendre, d'ailleurs, à des écarts assez considéra-

bles dans les valeurs de R_1 et de R_2, ou de R_2 en supposant R_1 constant, attendu que le marbre dont il s'agit se trouve formé de veines et de nodules d'aspect et de résistance variables, ayant des soudures de résistance différentes avec la pâte juxtaposée.

Trois expériences ont été faites en posant les poutrelles sur le lit de carrière, et les sections de rupture ont mis en relief le défaut d'homogénéité qui vient d'être signalé.

Dans aucune des épreuves, la flèche n'a été nettement appréciable, contrairement à ce qui s'est produit avec l'ardoise de Lourdes : fait compréhensible, si l'on compare entre elles les charges de rupture, celles qui correspondent au marbre griote étant très-faibles relativement à celles fournies par l'ardoise.

Première expérience (*fig.* 8).

Portée entre les appuis $l = 0^m,506$; moindre distance entre les appuis et la section de rupture $x = 0^m,201$; largeur horizontale de la section de rupture $a = 0^m,036$; hauteur verticale de la même section $h = 0^m,021$; poids de l'unité de longueur de la poutrelle $p = 0^m,036 \times 0^m,021 \times \times 1^m,00 \times 2.965^k = 2^k,24154$; poids additionnel concentré au milieu même de la portée et déterminant la rupture $P = 47^k,70$ seulement ;

$$K = \frac{p}{2} \cdot x\left(l + \frac{P}{p} - x\right) = \frac{2,24154}{2} \times 0,201 \times$$
$$\times \left(0,506 + \frac{47.7}{2,24154} - 0,201\right) = 4.8542 ;$$
$$\frac{1}{2h} = \frac{1}{2 \times 0,021} = \frac{1}{0,042}.$$

Le plein de la section de rupture présentant à l'œil une pâte sensiblement homogène, à part un mince fil presque vertical et cristallin, on semble pouvoir adopter ici, avec quelque confiance $R = 3.400.000$ kilogrammes.

Dès lors,

$$\frac{3K}{aR_1} = \frac{3 \times 4.8542}{0.036 \times 3.400.000} = \frac{14,5626}{122400} = 0,000.119;$$

$$\frac{1}{2h} \times \frac{3K}{aR_1} = \frac{0.000.119}{0.042} = 0,002833;$$

$$\left(\frac{1}{2h} \cdot \frac{3K}{aR_1}\right)^2 = (0,002833)^2 = 0,000.008.025.889.$$

Par conséquent :

$$b = -0,002833 + \sqrt{0,000119 + 0,000.008.025.889} = -$$

$$-0,002833 + \sqrt{0,00.01.27.02.58.89} = -0,002714 + 0,01127 =$$

$$= 0,0086;$$

$$b_1 = h - b = 0,0210 - 0,0086 = 0,0124;$$

et

$$R_2 = 3.400.000 \times \left(\frac{86}{124}\right)^2 = 3.400.000 \times \frac{7386}{15376} = 1,632.570^k.$$

Il est à observer cependant que la dalle s'est rompue, savoir : dans la face horizontale écrasée à $0^m,04$ de la section médiane ; et, dans la face soumise à la traction, à $0^m,05$, c'est-à-dire que cette dalle était plus homogène et résistante suivant la section médiane, ou de rupture théorique, que suivant la section où la rupture s'est réellement opérée ;

Puis, en outre, qu'une esquille de la face horizontale s'étant détachée, a attiré l'attention sur une cassure terne, ou terreuse, non-seulement au contact de cette esquille avec le corps de la pièce, mais encore tout le long d'une mince partie de la section de rupture, partie horizontale et située précisément dans la zone ayant à supporter l'effet maximum de traction : de sorte que, suivant toute probabilité, la valeur ci-dessus ($1.632.570^k$) de R_2 est plutôt trop petite que trop grande relativement à la moyenne applicable au calcul des grandes dalles usitées dans la pratique des travaux.

Deuxième expérience (*fig.* 9). — On a trouvé :

$$l = 0^m,506,\ x = 0^m,228,\ a = 0^m,037,\ h = 0,0225,\ p = 0,037 \times \times 0^m,0225 \times 1,00 \times 2965^k = 2^k,4684,\quad P = 54^k,20.$$

Par conséquent :

$$K = \frac{2.4684}{2} \times 0,228 \left(0,506 + \frac{54,20}{2.4684} - 0,228\right) = 6,2571 ;$$

$$\frac{1}{2h} = \frac{1}{2 \times 0,0225} = \frac{1}{0,045}.$$

La section de rupture n'offre pas une pâte aussi homogène que dans la précédente expérience : la partie soumise à l'effet de compression montre à l'un de ses angles un poil assez fort ; puis, d'autres poils très-minces, mais presque horizontaux et très rapproché de l'axe neutre probable, donc sans effet sensible sur la résistance de la dalle. La partie soumise à la traction est au contraire très-saine. En somme la section apparaît comme étant d'une pâte fine et, évidemment, très-résistante. Donc il semble raisonnable, tout d'abord, d'admettre $R_1 = 3\,400\,000^k$, encore une fois ; et, peut-être, de s'attendre à une valeur de R_2 un peu plus forte que celle trouvée à la suite de l'expérience prcédente.

Dès lors :

$$\frac{3K}{aR_1} = \frac{3 \times 6,2571}{0,037 \times 3.400.000^k} = \frac{18,7713}{125,800} = 0,000,149 ;$$

$$\frac{1}{2h} \times \frac{3K}{aR_1} = \frac{0,000149}{0,045} = 0,003311 ;$$

$$\left(\frac{1}{2h}\frac{3K}{aR_1}\right)^2 (0,003311)^2 = 0,000.010.962.721 ;$$

$$b = -0,0033 + \sqrt{0,000149 + 0,000.010.962.721} = - -0.0033 + 0,0126 = 0,0093 ;$$

$$b_1 = 0,0225 - 0,0093 = 0,0132 ;$$

et

$$R_2 = 3.400.000 \times \left(\frac{93}{132}\right)^2 = 3.400.000 \times \frac{8649}{17424} = 1.687.707^k.$$

Troisième expérience (*fig.* 10). — La section de rupture a présenté un grave défaut d'homogénéité dans la partie soumise à la plus forte compression, caractérisée même le long des faces latérales de la pièce par un poil et par une veine blanchâtre. Il devenait ainsi douteux que même le minimum de R_1 ($3.080.000^k$) fût applicable. Quoi qu'il en soit, nous avons supposé ce minimum admissible, dans les calculs ci-après; mais il est évident, *a priori*, que l'on obtiendra de la sorte une valeur de R_2 trop petite puisqu'on aura supposé R_1 trop fort. Du reste, la rupture a eu lieu sensiblement suivant la section médiane.

On a eu, d'ailleurs :

$$l = 0^m,506,\quad x = 0,235,\quad a = 0^m,024,\quad h = 0,049,\quad p = 0^m,024 \times \times 0^m,049 \times 1^m,00 \times 2965^k = 3^k,48684;\quad P = 135^k.40;$$

donc :

$$K = \frac{3,4868}{2} \times 0,235 \times \left(0,506 + \frac{135.40}{3.4868} - 0,235\right) = 16,0209;$$

$$\frac{1}{2h} = \frac{1}{2 \times 0,049} = \frac{1}{0,098};$$

$$\frac{3K}{aR_1} = \frac{3 \times 16,0209}{0,024 \times 3.080.000^k} = \frac{48,0627}{73920} = 0,000650;$$

$$\frac{1}{2h} \cdot \frac{3K}{aR_1} = \frac{0,000650}{0,098} = 0,006633;$$

$$\left(\frac{1}{2h} \cdot \frac{3K}{aR_1}\right)^2 = (0,006633)^2 = 0,000043996689;$$

$$b = -0,006633 + \sqrt{0.000650 + 0,000.043.996.689} = - -0,006633 + 0,026350 = 0,019717 (0,020);$$

$$b_1 = 0^m,049 - 0^m,020 = 0^m,029;$$

et

$$R_2 = 3.080.000^k \times \left(\frac{20}{29}\right)^2 = 1.464.928^k,$$

résultat notablement trop faible, sans doute, ainsi qu'on pouvait le prévoir par les motifs indiqués plus haut.

Quoi qu'il en soit des erreurs inséparables des appréciations, nécessairement très-sommaires, qui découlent de pareilles discussions, la moyenne des trois valeurs de R_2 ci-dessus est probablement une valeur faible de R_2 ; et l'on peut, en conséquence, poser sans inconvénient pour la pratique des travaux :

$$R_2 = \frac{1.632.570^k + 1.687.707^k + 1.464.928}{3} = \frac{4.604.836}{3} =$$

$$= 1.595.068.$$

En d'autres termes, il est même possible, sans courir aucun risque sérieux, d'introduire dans les formules, les valeurs numériques $R_1 = 3.000.000^k$ et $R_2 = 1.600.000^k$: d'autant plus que ces valeurs n'entreront en réalité dans les calculs que par $\frac{1^e}{10}\left(3.000.000^k\right)$ et $\frac{1^e}{10}\left(1.600.000^k\right)$.

L'expérience a, du reste, fait constater que les erreurs résultant des pesées, agissent au delà de toute proportion admissible quand la résistance de la pierre diminue ; ou, en d'autres termes, qu'il serait nécessaire, pour obtenir des résultats tout à fait exacts, de faire grandir la portée de l'appareil, et d'augmenter sensiblement les sections transversales des poutrelles soumises à l'épreuve, au fur et à mesure que la résistance de la pierre diminue : de façon à conserver à P, une valeur comprise entre 400 et 500 kilogrammes.

Le marbre griote n'a pas, jusqu'à ce jour, été employé en dalles sous les chemins de fer, et n'a pas donné lieu, non plus, sous les routes empierrées, à des applications remarquables.

XIV. 1° *Application à la recherche des valeurs de* R_1 *et* R_2 *correspondant à la pierre grise de Cazaux, employée en dalles sous le chemin de fer de Montréjeau à Bagnères-de-Luchon.*

2° *Calcul de la portée maxima sous les rails, d'une dalle ayant* (1^m,00) *de largeur et* (0^m,30) *d'épaisseur.*

1° On a pour la pierre de Cazaux :

$$R_1 = 3.080.000^k \quad \text{et} \quad D = 2865^k.$$

Première expérience (fig. 11) :

$$l = 0^m,506,\quad a = 0^m.041,\quad h = 0,0495,\quad x = 0^m,241,\quad P = 392^k.50,$$
$$p = 0^m,041 \times 0,0495 \times 1^m.00 \times 2865^k = 5^k,815,$$
$$K = \frac{5,815}{2} \times 0,241 \times \left(0,506 + \frac{392.5}{5.815} - 0^m,241\right) = 47.482;$$
$$\frac{1}{2h} = \frac{1}{2 \times 0,0495} = \frac{1}{0,099};$$
$$\frac{3K}{aR_1} = \frac{3 \times 47.482}{0,041 \times 3.080.000} = \frac{142.446}{126.280} = 0,001.128.017;$$
$$\frac{1}{2h} \cdot \frac{3K}{aR_1} = \frac{0,001.128.017}{0,099} = 0,011394;$$
$$\left(\frac{1}{2h} \cdot \frac{3K}{aR_1}\right)^2 = 0,000.129.823.2;$$
$$b = -0,011394 + \sqrt{0,001.128.017 + 0,000.129.823.2} = 0,0240;$$
$$b_1 = 0,0495 - 0,0241 = 0,0255;$$
$$R^2 = 3.080.000^k \times \left(\frac{240}{255}\right)^2 = 2.697.547^k.$$

Deuxième expérience (fig. 12) :

$$l = 0^m,506,\quad a = 0^m,06,\quad h = 0^m,0495,\quad x = 0^m,22,$$
$$p = 0,06 \times 0,0495 \times 2865^k = 8^k,509;\quad P = 600^k,50;$$
$$K = \frac{8,509}{2} \times 0,22 \times \left(0,506 + \frac{600,5}{8,509} - 0,22\right) = 66,322;$$
$$\frac{1}{2h} = \frac{1}{2 \times 0.495} = \frac{1}{0,099};$$
$$\frac{3K}{aR_1} = \frac{3 \times 66,322}{0,06 \times 3.080.000} = \frac{198,966}{184.800} = 0,001.076.656;$$
$$\frac{1}{2h} \cdot \frac{3K}{aR_1} = \frac{0,001.076.656}{0,099} = 0,010.884;$$

$$\left(\frac{1}{2h}\cdot\frac{3K}{aR_1}\right)^2 = 0{,}000.118.461.5;$$

$$b = -0{,}010.884 + \sqrt{0{,}001.076.656 + 0{,}000.118.461.5} = \\ = 0^m{,}0237;$$

$$b_1 = 0{,}0495 - 0{,}0237 = 0{,}0258;$$

$$R_2 = 3.080.000^k \times \left(\frac{237}{258}\right)^2 = 2.599.085^k.$$

La moyenne des valeurs précédentes de R_2 est :

$$\frac{2.697.547^k + 2.599.085^k}{2} = 2.648.316^k;$$

par conséquent, on ne saurait commettre une erreur préjudiciable à la solidité des ouvrages, en adoptant $R_1 = 3.000.000^k$ avec $R_2 = 2.600.000^k$: coefficients indiquant pour la position de l'axe neutre des dalles de Cazaux, une zone très rapprochée du milieu de la hauteur ou épaisseur.

2° On a :

$$a = 1^m{,}00, \quad h = 0^m{,}30, \quad \frac{R_1}{R_2} = \frac{3.000.000}{2.600.000}, \quad D = 2865;$$

dès lors il vient successivement, en supposant la charge uniformément répartie (comme dans l'exemple correspondant relatif aux ardoises de Lourdes), savoir :

En prenant $\frac{1^e}{10}$ de R_1 :

$$L = \sqrt{\frac{8h^2}{pc}} = \sqrt{\frac{0.72}{c[10.926 + (2865)h]}} = \sqrt{\frac{0.72}{c \times 11785.5}},$$

$$c = \frac{3}{\frac{1}{10}\times 3.000.000^k} \times \sqrt{\frac{3.000.000}{2.600.000}} \times \left(1 + \sqrt{\frac{3.000.000}{2.600.000}}\right) =$$

$$= \frac{1}{100.000}\sqrt{1{,}153.846}\left(1 + \sqrt{1{,}153.846}\right) = \frac{1.074 \times 2.074}{100.000} = \\ = 0{,}000.022.274.76;$$

$$L = \sqrt{\frac{0{,}72}{0{,}000.022.274.76 \times 11.785{,}5}} = \sqrt{\frac{72}{2.625}} =$$
$$= \sqrt{2{,}743} = 1^{m}{,}66 \quad (fig.\ 13),$$

au lieu des $2^{m},47$ trouvés pour les dalles de Lourdes.

En prenant $\frac{1}{15}$ de R_1 :

$$c = 0{,}000.033{,}412.14,$$

$$L = \sqrt{\frac{0{,}72}{0{,}000.033.412.14 \times 11.785.5}} = \sqrt{1{,}828} = 1^{m}{,}35,$$

au lieu de $2^{m},02$ des dalles de Lourdes.

La diminution de la valeur de L est ici facile à comprendre, puisque, dans le dernier exemple, $R_1 = 3.000.000^{k}$ au lieu de $4.000.000^{k}$, et $R_2 = 2.600.000^{k}$ au lieu de $R_2 = 7.000.000^{k}$.

Le marbre de Cazaux a été employé sous le chemin de fer de Montréjeau à Bagnères-de-Luchon, en dalles ayant ($0^{m},70$) de portée, ($0^{m},25$) d'épaisseur, et environ ($0^{m},60$) de largeur minima : or en cherchant la valeur de a correspondante à $l = 0^{m},70$, $h = 0^{m},25$, $\frac{R_1}{R_2} = \frac{3.000.000}{2.600.000}$, et $D = 2.865^{k}$, on trouve $a = 0^{m},20$. On aurait donc pu amincir les dalles notablement, si les circonstances de l'exploitation des carrières n'avaient pas rendu cette mesure d'une utilité contestable.

XV. Il est à observer que l'introduction dans les formules connues, des deux coefficients de résistance à la rupture par compression et par étirement, R_1, et R_2, au lieu et place du coefficient unique *dit de résistance à la flexion*, n'altère en rien la marche des calculs admis et pratiqués ordinairement par les ingénieurs, *tout en changeant d'une manière considérable*, éminemment utile, *les résultats*.

Toulouse, le 24 novembre 1871.

ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES.

CHRONIQUE.

Février 1872.

La lettre suivante a été adressée au directeur de l'École des ponts et chaussées, qui s'est empressé d'exprimer à son auteur combien il était touché de la démarche des anciens élèves externes dont M. Goldschmidt préside l'association.

Vienne, le 28 août 1871.
Elisabeth Strass, 3.

Monsieur l'inspecteur général,

J'ai l'honneur de vous transmettre ci-jointe une somme de 750 fr., résultat d'une petite collecte faite entre quelques ingénieurs, anciens élèves de l'École des ponts et chaussées, en faveur de personnes atteintes des suites de la guerre, avec la prière de vouloir bien, monsieur l'inspecteur général, en disposer ainsi que vous le jugerez convenable. Nous ne croyons par devoir fixer l'usage spécial à donner à cette faible somme, en pensant toutefois que les personnes étant en rapport direct ou indirect avec notre art mériteraient de préférence votre attention (*).

Les relations régulières avec la France ayant à peine repris, nous regrettons de ne venir qu'un peu tard vous faire cette petite offrande.

Permettez-moi, monsieur l'inspecteur général, de profiter de cette occasion pour vous dire, au nom de tous ceux qui font partie de notre association, que nous n'avons pas oublié les bienfaits que

---

(*) La somme a été répartie suivant les intentions des donataires.
E. M.

la France nous a prodigués, le généreux accueil qu'elle nous a fait depuis des années, et l'hospitalité qu'elle ne cesse de donner à ceux qui y viennent chercher la science par des études approfondies.

Nous sommes heureux de pouvoir donner ici expression à nos sentiments de profonde reconnaissance pour l'École des ponts et chaussées, dont nous suivons des yeux toutes les phases avec l'intérêt du plus dévoué attachement, avec la plus sincère et la plus vive sympathie pour la France.

Veuillez agréer, etc.

Le président de l'association des ingénieurs, anciens élèves externes de l'École des ponts et chaussées,

GOLDSCHMIDT.

A. SERRES,
Chef du comité de l'Autriche.

RÉSUMÉ DES RÉPONSES FAITES EN 1870 AU QUESTIONNAIRE DE L'UNION DES CHEMINS DE FER D'ALLEMAGNE (*).

QUESTION A, N° 1. — *Quels sont les résultats donnés par l'emploi des diverses sortes de rails d'acier; quelle est l'influence des encoches sur leur résistance?* — Les observations, continuées depuis 1867 jusqu'en 1869 sur les voies posées avec rails d'acier, ne sont pas assez concluantes pour permettre de porter un jugement définitif sur la valeur relative des divers systèmes de rails. Bien plus, les vues des diverses administrations ne sont pas toujours d'accord.

On peut cependant, d'une manière générale, recommander de développer sur une large échelle les essais avec rails d'acier, car les observations faites jusqu'ici montrent que les difficultés de fabrication sont faciles à surmonter au moyen de soins convenables.

Les rails à couverte en acier peuvent être recommandés au point de vue de la sécurité, pourvu que la soudure soit bien faite (**).

Les encoches dans les rails en acier ne paraissent pas avoir eu d'effets fâcheux. Tant qu'on n'aura pas trouvé un moyen efficace et commode pour les remplacer, il n'y a pas lieu d'y renoncer. Il faut toutefois arrondir les encoches, et autant que possible ne les pratiquer qu'aux extrémités des rails. Les coins d'arrêts aux joints, quand on peut les employer, paraissent produire un bon effet.

A la fin de 1869, on comptait en Allemagne :

303 kilomètres de voies posées avec rails en acier puddlé (les chemins autrichiens figurent dans ce total pour 270 kilomètres).
21 kilomètres de voies avec des rails en acier cémenté.
120 kilomètres de voies avec des rails en acier fondu Bessemer ou autres.
45 kilomètres de voies avec des rails à couverte d'acier.

QUESTION A, N° 2. — *Quels sont les résultats fournis par les essais de voies tout en fer?* — Les systèmes qui ont été le plus généralement employés sont :

(*) Les lignes constituant l'union des chemins de fer d'Allemagne présentaient, à la fin de 1868, une longueur totale de 24203 kilomètres.

(**) En France, les résultats obtenus dans l'emploi des rails en acier Bessemer permettent d'être beaucoup plus affirmatif qu'on ne l'est en Allemagne au sujet de la préférence à donner à ce métal sur le fer. Les rails à couverte en acier paraissent au contraire avoir donné des résultats très-peu satisfaisants.

Le gouvernement belge vient, de son côté, de prescrire l'emploi exclusif de rails en acier toutes les fois que les pentes dépassent $0^m,013$.

D'abord la voie Hartwich sur 89 890 mètres,
Ensuite la voie mixte Scheffler sur 23 880 mètres,
Puis la voie mixte Hilf sur 22 750 mètres,
Enfin la voie sur traverses en fer (système Vautherin) sur 15 380 mètres.
Le système mixte de Köstlin et Battig n'a été essayé que sur une longueur de 5043 mètres.

Les avantages et les inconvénients de ces divers systèmes peuvent se résumer comme il suit :

1° *Système Hartwich.* — Rails à patins de 0m.20 à 0m.28 de hauteur :

Prix de revient.	26 à 30 francs le mètre courant.
Entretien.	coûteux.
Remplacement.	coûteux.
Service pour l'exploitation.	sûr et solide.
Mode de roulement.	dur.
Rétablissement après les accidents.	facile et rapide.

2° *Système Scheffler.* — Rails assemblés en trois parties :

Prix de revient.	42 à 43 francs le mètre courant.
Entretien.	coûteux.
Remplacement.	peu coûteux.
Service pour l'exploitation.	sûr et solide.
Mode de roulement.	dur.
Rétablissement après les accidents.	difficile et long.

3° *Système Hilf.* — Rails assemblés sur une longrine en fer :

Prix de revient.	42 à 43 francs le mètre courant.
Entretien.	peu coûteux.
Remplacement.	peu coûteux.
Service pendant l'exploitation. . . .	sûr et solide.
Mode de roulement.	élastique et régulier.
Rétablissement après les accidents.	facile et rapide.

4° *Système Vautherin.* — Rails ordinaires sur traverses prismatiques en fer :

Prix de revient.	un peu moindre que celui des voies sur traverses en bois.
Entretien.	plus coûteux que celui des voies avec traverses en bois.
Service pendant l'exploitation. . . .	sûr et solide.
Mode de roulement.	aussi élastique qu'avec les traverses en bois.
Rétablissement après les accidents.	facile et rapide, mais les déraillements mettent un plus grand nombre de traverses hors de service que si l'on emploie les traverses en bois.

QUESTION B, n° 6, — *Quels sont les résultats de l'emploi des machines à quatre roues?* — La direction des chemins de fer de

l'État de Saxe, qui possède dix-huit locomotives à quatre roues, a donné la réponse suivante :

Les expériences faites jusqu'ici montrent qu'il ne faut pas recommander ces machines pour des vitesses supérieures à 37 kilomètres à l'heure, parce que sur une voie qui n'est pas en parfait état, les mouvements d'oscillation deviennent trop forts, et, en outre, les machines destinées au transport des voyageurs, ayant un ressort sur chaque roue, ont donné lieu à des variations de pressions sur les ressorts, analogues à celles que donnent les machines à six roues.

Ainsi, dans une expérience on a trouvé que pour une charge normale de 7 tonnes, la pression avait varié entre 11ᵗ.25, et 4 tonnes en pleine marche : c'est-à-dire qu'elle avait dépassé de 60 p. 100 la charge normale et qu'elle était descendue de 40 p. 100 au-dessous.

Quand la machine repose sur trois ressorts et sur un balancier de compensation, la marche est plus régulière, mais un peu plus dure.

L'usure des bandages des roues de devant est plus rapide que dans les machines qui ont un essieu porteur. Les dépenses d'entretien des bandages augmentent d'autant.

En résumé, les machines à quatre roues sont à recommander pour le service des gares et pour les trains qui marchent à une vitesse modérée (moins de 40 kilomètres à l'heure) (*).

QUESTION B, n° 10. — *Quels sont les motifs pour construire les tenders avec six roues au lieu de quatre?* — Il n'y a aucun motif pour ne pas donner quatre roues aux tenders si les circonstances locales le permettent, autrement dit, si la charge par essieu ne dépasse pas la charge maximum adoptée, eu égard à l'état de la voie.

QUESTION B, nᵒˢ 18 et 19. — *Chauffage et éclairage des voyageurs.* — On recommande de poursuivre les essais de chauffage des wagons à l'aide de la vapeur et l'éclairage avec du gaz comprimé.

En Bavière, toutes les voitures à voyageurs sont chauffées à la vapeur depuis la fin de 1869. Dans un compartiment des fourgons

(*) Ces résultats acquièrent une certaine importance eu égard aux affirmations énoncées, un peu prématurément peut-être, par M. Weber, directeur des chemins de fer de l'État, en Saxe, dans son ouvrage sur la stabilité des voies. — Voir le compte rendu (*Annales des ponts et chaussées*, 1870, page 204).

à bagages est installée une chaudière verticale, alimentée au moyen d'une pompe à main. L'approvisionnement d'eau se trouve dans une caisse sous la plate-forme du fourgon.

Deux conduits de vapeur partent de la chaudière et aboutissent, l'un au premier, l'autre au dernier wagon du train. Des tuyaux de distribution de 0.020 de diamètre circulent sous les banquettes et sont reliés d'un wagon à l'autre par des joints en caoutchouc. Des robinets sont disposés pour faire écouler l'eau produite par la condensation de la vapeur.

Un chauffeur est chargé du service de la chaudière et des appareils sur tout le parcours du train. La chaudière doit être allumée deux ou trois heures avant le départ.

On obtient facilement dans les wagons + 18 degrés centigrades pendant que la température extérieure est — 15 degrés.

La pression dans la chaudière est au plus de 3 atmosphères. La consommation de charbon est en moyenne de 1/2 kilogramme par kilomètre pour les trains-poste et de 3/4 de kilogramme pour les trains directs.

Les trois classes de wagons sont chauffées.

La compagnie du chemin de la basse Silésie a fait des essais de chauffage au moyen d'une prise de vapeur sur la locomotive. Par une température de —10 degrés centigrades on a obtenu + 10 à +12 degrés dans les voitures, sans nuire à la force de la machine et sans augmenter sensiblement la consommation de charbon.

La même compagnie a fait des essais d'éclairage des voitures par le gaz. Sous chaque voiture à voyageurs est installé un récipient en fer où est comprimé à 6 ou 8 atmosphères du gaz de paraffine, dont le pouvoir éclairant est quatre fois celui du gaz de charbon de terre.

Un régulateur introduit le gaz dans des tuyaux de $0^m.007$ de diamètre. La flamme brûle dans des lanternes spéciales et donne une lumière claire et tranquille avec laquelle on peut lire commodément. La consommation est de 0.022 de mètre cube par bec et par heure.

Le prix du gaz et de $1^f.10$ le mètre cube. La dépense ressort donc à environ 2 centimes 1/2 par bec et par heure, tandis que l'éclairage à l'huile coûte un peu plus de 6 centimes. Les dépenses d'entretien sont de $0^c.125$ par bec et par heure; tandis que pour l'huile elles vont jusqu'à $1^c.7$. L'économie totale ressort à 5 centimes par bec et par heure. La compagnie de la basse Silésie a installé l'éclairage au gaz pour 330 voitures à voyageurs, et les intérêts du capital d'établissement ont été couverts en trois mois par l'économie réalisée.

QUESTION C, N° 24. — *Quels avantages présente le frein à contre-vapeur? Doit-il faire diminuer le nombre des freins ordinaires?* — L'établissement du frein à contre-vapeur (système Lechâtelier-Ricour) doit être recommandé d'une manière générale soit comme un puissant frein de secours en cas d'accident, soit comme moyen de régulariser la vitesse sur les pentes fortes, ou comme moyen d'arrêt des trains dans les stations.

Cependant on ne peut pas se fier à ce moyen seul dans les parcours exceptionnellement difficiles, et, par mesure de précaution, il ne faut pas diminuer le nombre des freins ordinaires.

QUESTION C, N° 26. — *Lequel doit-on préférer du système de voitures à voyageurs divisées en compartiments ou du système de voitures avec couloir central et escalier aux extrémités?* — Le système des voitures à compartiments est incontestablement le mieux approprié aux trains à grande vitesse et à longs parcours.

Les wagons à couloir central conviennent à un service de banlieue très-fréquenté, et encore la convenance dépend du nombre de voyageurs et des circonstances locales (*).

QUESTION C, N° 23. — *Quelles considérations s'opposent à l'adoption générale d'une barre d'attelage de sûreté unique à la place des deux chaînes de sûreté en usage jusqu'à présent?* — Les rapports adressés par les diverses compagnies établissent d'une manière à peu près unanime que les chaînes de sûreté actuelles sont inutiles et quelquefois nuisibles. Aussi doit-on se préoccuper des moyens de les remplacer. Le chemin de fer de l'État, en Hanovre, a déjà adopté un système qui consiste à placer une seconde barre d'attelage au-dessous de la première, en lui laissant un peu de jeu.

JULES MICHEL.

(*) Cet avis des administrations des chemins de fer d'Allemagne, qui se sont pendant longtemps servi presque exclusivement du matériel américain, est bon à noter au moment où en France on entend beaucoup de personnes vanter ce système de voitures.

EMPLOI DES EAUX D'ÉGOUT.

Deux documents qui viennent de paraître en Angleterre permettent de juger où en est chez nos voisins la question de l'assainissement des rivières au moyen du traitement des eaux d'égout. C'est d'abord le rapport de M. Jacob, *Treatment of town sewage*, étude couronnée par l'Institut des Ingénieurs de Londres ; c'est ensuite le compte rendu de la ferme d'essai de Lodge farm.

L'étude de M. Jacob prend la question où elle est en Angleterre : il y a de l'eau à discrétion dans les maisons, les vidanges tombent directement à l'égout, les eaux sales arrivent à la rivière. Que faut-il faire pour échapper aux tribunaux qui, s'appuyant sur le principe que nul n'a le droit de nuire à autrui, condamnent dès qu'on constate un dommage provenant de l'écoulement des liquides d'égout?

Trois procédés ont été tentés, chimique, mécanique, agricole.

Procédé chimique. — Le procédé chimique a eu presque toujours pour but de précipiter les matières suspendues, de fabriquer un engrais riche sous un petit volume, tandis qu'on perdrait aux rivières l'eau clarifiée. Le réactif employé d'abord était la chaux vive. On la jetait dans le courant, il se formait un coagulum de boue, qu'on relevait, qu'on séchait, et qu'on mettait en vente. Les expériences des commissaires royaux de la pollution des rivières (*Rivers Pollution commissioners*) ont établi que 90 p. 100 environ des matières suspendues étaient précipitées, mais que les matières organiques dissoutes restaient dans le liquide, et pouvaient même, par la réaction de la chaux, augmenter en quantité, et ajouter à l'infection.

Après la chaux, les deux variantes qui ont fait le plus de bruit sont les procédés de l'A, B, C, et phosphatique. L'A, B, C se compose essentiellement d'alun A, de sang (*blood*) B, de charbon C, minéral et végétal. Le mélange, le séchage des boues se fait à peu près comme à Leicester; l'usine paraît insalubre, mais les propriétaires du brevet affirment qu'ils fabriquent un guano, accepté par la culture et se vendant avec bénéfice.

La réaction plus neuve des phosphates minéraux d'alumine ou de magnésie est celle-ci : quand, traités par l'acide sulfurique ou chlorhydrique, ils sont à l'état d'hydrate, ils agissent sur les eaux troubles, et il se forme un phosphate ammoniaco-magnésien qui

tombe en empâtant les matières suspendues; celles-ci sont ensuite, à la presse hydraulique, converties en tourteaux. Quant à l'eau, elle garde ce qu'elle tient, mais en perdant son odeur.

La richesse dissoute échappe donc aux agents chimiques.

Procédé mécanique. — Le procédé mécanique consiste dans la filtration. La filtration à travers le sable est le moyen recommandé par les commissaires royaux, parce qu'en même temps qu'il arrête les matières en suspension, il paraît aussi dépouiller les eaux d'une partie des matières dissoutes. Les commissaires se livrant à des expériences rationnelles, ont, dans de longs tubes en verre, formé des sols artificiels que traversaient des quantités variables d'eaux troubles. La filtration de bas en haut ne valait rien; la filtration naturelle de haut en bas était efficace, et presque indéfiniment; les pores ne s'obstruent pas, pourvu que le mouvement soit intermittent, et que l'air ait le temps de pénétrer, de remplir les vides. Les sols de nature diverse gardaient en totalité les matières suspendues, et de 88 à 96 p. 100 des matières dissoutes.

Procédé agricole.—Le procédé agricole, l'irrigation, est le plus en faveur auprès des hommes de science. L'irrigation est-elle efficace, est-elle inoffensive, donne-t-elle des profits? Voilà ce qu'on voudrait savoir.

Qu'elle soit efficace, les analyses des eaux à leur sortie des arrosages de six localités, représentées par Warwick pour l'argile, par Croydon pour les graviers, le démontrent. Non-seulement l'eau est limpide, mais elle ne retient que des traces de substances organiques. Ainsi, en s'échappant d'un sol imperméable, elle ne contenait par mètre cube que $1^g.32$ de carbone, et $0^g.221$ d'azote; dans les sols perméables, le carbone descendait à $0^g.51$ et l'azote à $0^g.146$.

La prévention qui veut que la fièvre accompagne l'irrigation tombe de jour en jour. Même à Édimbourg, où la surface d'arrosage est restreinte et démesurément chargée, il est prouvé que la santé publique n'a pas souffert. Même résultat d'observation en Lombardie. Mais là, distinguons l'irrigation par ruissellement et intermittente, de la stagnation dans les rizières submergées. La stagnation est foncièrement insalubre. Quelques esprits s'étaient préoccupés des germes d'infusoires, que devaient déposer les eaux: ils y voyaient un principe de maladie, puisque ces germes entreraient dans l'organisme par l'alimentation. Pourtant aucune affection spéciale n'a atteint le bétail nourri avec les herbes des prairies arrosées à l'eau d'égout.

La grosse question est celle du produit. Pour faire l'argent, on a

cru d'abord qu'il fallait se borner au ray-grass, attendre les coupes multipliées que procurait l'irrigation. Puis, la demande d'herbe faisant défaut, il a fallu se rejeter sur les céréales, sur les légumes qui se vendaient au marché. On a été surpris de réussir, comme si l'on employait l'engrais ordinaire, le fumier.

C'est ainsi qu'à Romford, petite ville de 1 200 âmes, toutes les eaux d'égout servent à M. Hope à mener très-habilement une ferme, qui répète les cultures des fermes voisines; les légumes y sont magnifiques et d'excellente qualité. A Lodge Farm, ferme de la Société d'irrigation, le mouvement d'une année a été l'objet d'un compte rendu financier. Lodge Farm était d'abord une laiterie, et une étable de 200 vaches. Aujourd'hui le bétail est à peu près vendu; le jardin maraîcher domine. La ferme, qui s'étend sur 76 hectares, en a eu 67 d'arrosés avec 500 000 mètres cubes de liquide d'égout en une année : c'est environ 7 500 mètres cubes par hectare. Mais la moyenne flotte entre des extrêmes très-écartés. Le ray-grass a reçu 29 000 mètres cubes, les betteraves 10 000, l'avoine 7 000, les oignons, les fraises, 2 500 mètres cubes à l'hectare. La valeur en argent est représentée par les ventes au marché, réunies à l'estimation des récoltes en terre. Le total de 153 000 francs, qui est le produit brut, se répartit ainsi :

	francs.	
Herbe : Ray-grass et trèfle.	24 000	153 000 fr.
Céréales : Orge, seigle, avoine.	21 000	
Racines : Betteraves et pommes de terre. . . .	39 000	
Choux : Choux verts ou rouge, choux-fleurs. . .	36 000	
Légumes de toute variété : Fraises, etc.	33 000	

Le compte rendu de Lodge Farm résume ainsi l'enseignement :
« La supériorité d'application des eaux d'égout à la culture maraîchère, par rapport aux simples fourrages, ne peut plus faire « question dès qu'on est près d'un grand marché. Ce qui n'est pas « moins démontré, c'est la petite surface qui suffit à dévorer des « quantités considérables de liquides. Reste à choisir les emplacements, à les prendre rapprochés des villes pour ne pas grandir les dépenses de canalisation et d'exploitation. Et quant aux « effets qui suivent l'irrigation, ce n'est pas l'insalubrité, c'est la « richesse qui arrive dans le pays. »

Si l'on rapproche les conclusions anglaises de celles obtenues en France dans les expériences de Gennevilliers, on les trouve d'accord. En Angleterre, on est parti des procédés chimiques, et l'on a été conduit aux arrosages agricoles : de plus la culture de l'herbe, préconisée d'abord, disparaît devant celle des plantes su-

périeures, les racines, les légumes, les fruits. En France, l'exemple des contrées méridionales a porté de suite les idées vers l'irrigation, et toute l'échelle de la végétation est apparue dans sa splendeur. Mais ces idées étaient trop absolues, parce que l'arrosage peut être refusé ; il a fallu les tempérer, en introduisant la défécation par l'alumine : la chimie opère, si les agents naturels font défaut.

Les principes se trouvent donc fixés : les eaux d'égout représentent un *fumier liquide ;* dès qu'elles travaillent sur un sol perméable, ces eaux se dépouillent au profit de la végétation, et retournent révivifiées et pures à la rivière.

MILLE.

N° 8

NOTICE NÉCROLOGIQUE

Sur M. AVRIL, *Inspecteur général des ponts et chaussées en retraite,*

Par M. LÉONCE REYNAUD, inspecteur général des ponts et chaussées.

Né à Caen le 12 novembre 1797, M. Avril (Sophie-Émile-Philippe) est décédé à Paris le 23 janvier 1872 en laissant de profonds et durables regrets au corps dont il a été l'un des membres les plus distingués, à l'École qu'il a dirigée pendant douze ans, aux nombreux amis qu'il s'était assurés.

Il appartenait à une excellente famille, fixée depuis plusieurs générations dans les environs de Mortain; son père était directeur de l'enregistrement et des domaines à Caen, et c'est au lycée de cette ville qu'il fit des études littéraires qui, couronnées de succès, exercèrent une grande influence sur sa carrière.

Admis à l'École polytechnique avant d'avoir atteint sa dix-huitième année, il fut frappé par le licenciement de 1816, et n'entra à l'École des ponts et chaussées qu'en 1817. A sa sortie de cette dernière École, il fut successivement attaché aux services des départements des Hautes-Pyrénées et de la Gironde, à la navigation de la rivière d'Isle et, en 1823, aux travaux du canal de Nantes à Brest, dans la traversée du Finistère. C'est dans ce dernier poste que se trouve le point de départ d'une réputation qui, toujours justifiée, devait croître rapidement.

Nos jeunes ingénieurs ne se figurent pas les difficultés que rencontrait, à cette époque, l'exécution de grands travaux publics, surtout dans les provinces les plus éloignées du centre. On n'avait pas ces conducteurs instruits et dévoués qui nous sont aujourd'hui de si précieux collaborateurs; la plupart des entrepreneurs étaient peu capables, fort mal outillés et sans grandes ressources; les ouvriers n'abondaient pas et il ne s'en trouvait guère d'habiles; enfin les transports étaient si dispendieux qu'il fallait s'accommoder des matériaux que fournissait la contrée, car on ne pouvait songer à en faire venir de départements mieux pourvus sous ce rapport. L'ingénieur était obligé de suffire à tout, d'entrer dans les détails les plus minutieux et d'exercer une surveillance assidue sur toutes les parties de son service.

Nulle part, peut-être, ces conditions n'étaient plus impérieuses que sur le canal ouvert dans la partie la plus sauvage de la presqu'île bretonne; mais, grâce à un zèle toujours en éveil et à une maturité d'esprit qui n'avait point attendu les années, M. Avril sut se maintenir à la hauteur de la tâche qu'il avait assumée. Ses projets, consciencieusement étudiés et exposés avec art, furent toujours approuvés par le conseil des ponts et chaussées, et l'on allait chercher sur ses chantiers des modèles de construction. Un point entre autres avait excité sa sollicitude : le mortier hydraulique employé dans le pays avant son arrivée était composé d'une chaux de médiocre qualité, provenant de Brest, et d'une pouzzolane artificielle fabriquée à Quimper avec des débris de briques, de tuiles et de poteries. Cette dernière matière, dont l'énergie variait suivant la nature d'éléments dans le choix desquels n'intervenait que le hasard, laissait habituellement beaucoup à désirer, et avait en outre le grave inconvénient d'être très-dispendieuse; elle ne revenait pas, sur la ligne du canal, à moins de 75 francs par mètre cube. Le jeune ingénieur ne put se résoudre à l'admettre; il entreprit des recherches qui lui firent

trouver dans les environs un gisement de grauwacke friable, la soumit à de nombreux essais, et fit bientôt adopter pour ses travaux une nouvelle pouzzolane bien supérieure à l'ancienne et ne coûtant que le cinquième, c'est-à-dire 15 francs le mètre cube. C'était une économie très-considérable dans les dépenses de la ligne, car les écluses étaient nombreuses; et la commission des canaux, par une délibération du 26 novembre 1824, puis le conseil général des ponts et chaussées, dans sa séance du 7 décembre suivant, signalèrent l'importance du service rendu, en demandant une récompense pour l'auteur de la découverte. Le service fut reconnu avec empressement, la récompense fut ajournée.

En 1831, quatre-vingts kilomètres de canal étaient ouverts à la navigation, et le surplus de la traversée du Finistère était en voie d'achèvement. Une grande opération avait été heureusement conduite près du terme, malgré de nombreuses entraves, et M. Avril, fatigué de l'isolement presque absolu qu'il supportait depuis huit années, se jugea en droit de demander un changement de résidence. Il l'obtint, malgré l'opposition très-flatteuse pour lui que l'ingénieur en chef et le préfet firent à l'adoption de la mesure, et il fut attaché aux travaux du canal de Bourgogne; mais cette nouvelle position ne devait pas être de longue durée.

L'éminent administrateur qui venait d'être appelé à la direction générale des ponts et chaussées et des mines, fort heureusement pour les deux corps, plus heureusement encore pour le pays, M. Legrand, n'avait pu lire les rapports de M. Avril sans être frappé de leur style et surtout de l'excellent esprit dont ils portaient témoignage, et il le désigna pour les fonctions nouvellement créées de secrétaire de la section de la navigation.

Quelques années après, en 1840, le secrétaire de section devint secrétaire du conseil général avec le grade d'ingé-

nieur en chef de 1re classe, et y tint la plume (ses contemporains n'ont pas oublié avec quelle distinction) jusqu'en 1844, date de sa nomination à un grade transitoire, lequel n'a pas été conservé et ne méritait pas de l'être, celui d'inspecteur divisionnaire adjoint. Il fut chargé, en cette qualité, de l'inspection d'un des six arrondissements entre lesquels les chemins de fer avaient été distribués, ne cessa depuis lors, quoique cette organisation exceptionnelle ait été de courte durée, de s'intéresser vivement à un ordre de travaux qui se recommandait à lui par sa nouveauté et son importance, et fit partie de la commission centrale des chemins de fer instituée en 1848, puis de celle qui la remplaça en 1853 sous le titre de Comité consultatif des chemins de fer.

Sa parole était de grande autorité dans le conseil général des ponts et chaussées, où elle éclairait des plus vives lumières, non-seulement les discussions relatives au tracé des nouvelles voies, mais encore toutes les affaires de navigation et de contentieux administratif, et n'était pas accueillie avec moins de faveur dans ce comité qui appréciait fort la sagesse de ses avis et plus encore peut-être la lucidité de ses rapports écrits.

Il y a un genre de littérature qui s'est illustré en France à diverses époques par de véritables chefs-d'œuvre, et paraît exiger plus que tout autre les qualités propres à notre génie national : je veux parler de ce que l'on pourrait appeler la littérature administrative. La passion, les mouvements oratoires, les images colorées, toutes ces choses si recherchées ailleurs, ne sont point à son usage ; elle ne veut pas entraîner, mais convaincre ; ce n'est pas à l'imagination, c'est à la raison qu'elle s'adresse, et, peu soucieuse d'ornements, elle ne demande le succès qu'à la clarté de l'exposition, à l'enchaînement des idées, à la limpidité du style, à la propriété des expressions. On peut regretter que ses produits les plus remarquables ne soient pas plus

connus, et n'interviennent pas, en une certaine mesure dans l'instruction de la jeunesse; car ils exerceraient une salutaire influence sur l'esprit public, et seraient de nature à déterminer une réaction contre cette mauvaise littérature et ces phrases déclamatoires qui ont contribué pour une si large part aux malheurs de la nation. Si l'on se décidait à faire imprimer un recueil de compositions de ce genre, quelques-uns des rapports de M. Avril n'y seraient certainement pas déplacés, et c'est la lecture de l'un d'eux, tombé dernièrement sous mes yeux, qui m'a rappelé ces réflexions faites depuis longtemps. Il traite de questions qui, presque oubliées aujourd'hui que justice a été faite des exagérations, excitaient alors les esprits au plus haut degré, et donnaient lieu à de vives attaques contre l'administration des travaux publics; la réunion des chemins de fer et des canaux du Midi entre les mains d'une même compagnie, tel était le sujet en discussion. Ce travail se lit avec grand intérêt, tout y est saisissant, chaque phrase y est à sa place et exerce son action, la conviction se fait peu à peu, et l'on se demande en finissant comment une vérité si facilement démontrée a pu être le sujet d'aussi longues controverses. Un ministre, bon juge en pareille matière et dont le passage aux Travaux publics a laissé le meilleur souvenir, M. Béhic, avait été frappé avant moi du mérite de l'œuvre et en avait adressé de chaleureuses félicitations à l'auteur.

En 1855, tout en conservant son siége au conseil général des ponts et chaussées et au comité consultatif des chemins de fer, M. Avril avait été appelé à succéder à M. Cavenne dans la direction de l'École des ponts et chaussées, position qu'il a dignement occupée jusqu'à sa mise à la retraite et où ses traditions sont religieusement maintenues.

Son dévouement aux intérêts publics lui avait fait accepter d'autres fonctions encore, dont il supportait facile-

ment le poids, grâce à une rare intelligence et à une grande aptitude au travail. Il était membre de la commission mixte des travaux publics, de la commission des canaux, de celle du drainage et de celle de la pêche fluviale. En 1842, il avait été nommé maître des requêtes en service extraordinaire avec autorisation de participer aux travaux et aux délibérations du conseil d'État, et il conserva cette position où, malgré sa réserve habituelle, il avait fait apprécier l'utilité de sa collaboration, jusqu'en 1848, époque à laquelle, en supprimant le service extraordinaire, on abandonna une excellente mesure afin de couper court à quelques abus. Enfin, membre depuis plusieurs années du conseil général du Finistère, il fut appelé, en 1859, à faire partie du conseil municipal de Paris.

Ces deux dernières fonctions étaient incompatibles, et il ne se décida en faveur du conseil municipal qu'après de longues hésitations. Il était fort attaché au département du Finistère; il y avait fait ses premières armes d'ingénieur; il y avait épousé une femme très-distinguée, bien digne de toute son affection; il y possédait une belle propriété, et il y était entouré du respectueux dévouement de cette excellente race bretonne où les services rendus sont récompensés par une reconnaissance durable et une popularité de bon aloi. Mais les grandes affaires l'attiraient, un plus large champ s'ouvrait à sa légitime ambition, et il se trouvait honoré de faire partie d'une assemblée dans laquelle les principales branches de l'activité humaine étaient représentées par des hommes de haute valeur. Le gouvernement de l'époque avait compris, en effet, qu'il devait s'efforcer d'obtenir, par des choix irréprochables, l'autorité morale qu'il ne voulait pas demander à l'élection, et il est certain que le suffrage universel aura cause gagnée quand ses préférences seront aussi bien justifiées.

A une existence ainsi remplie, les honneurs n'ont pas manqué, sans s'élever d'ailleurs à la hauteur des mérites.

M. Avril avait été promu au grade d'inspecteur général de 1re classe en 1854, et à celui de commandeur de la Légion d'honneur en 1857; il était, en outre, commandeur de l'ordre sarde des SS. Maurice et Lazare, commandeur de l'ordre portugais du Christ et officier de l'ordre brésilien de la Rose.

Mais, en même temps que les dignités arrivaient les vieux jours, et ils ne tardèrent pas à devenir bien tristes.

La loi inexorable qui impose la retraite dès qu'un certain âge est atteint est nécessaire sans doute; mais on ne peut s'empêcher de la déplorer quand elle enlève à la chose publique un de ces hommes qu'on ne remplace pas, et l'on doit reconnaître qu'elle n'est pas juste dans son impartialité apparente, en ce sens que le fonctionnaire est d'autant plus frappé qu'il a été plus dévoué, que la fonction, l'ayant absorbé davantage, est devenue pour lui comme une condition d'existence plus impérieuse. Aussi, quand l'heure de la retraite sonna pour M. Avril, un vide se fit qui lui pesait lourdement, bien que les sujets de travail et d'études attrayantes ne lui fissent pas défaut. Il avait été maintenu dans le comité consultatif des chemins de fer, il siégeait toujours au conseil municipal, et il se livrait, dans ses terres, à des expériences d'agriculture qui lui présentaient grand intérêt; mais son activité intellectuelle réclamait davantage.

Puis arrivèrent les désastres du pays. C'est dans son château de Kerminy, près de Rosporden, que nos malheurs successifs vinrent à coups redoublés le frapper si vivement au cœur, qu'on se demandait si sa santé déjà ébranlée y pourrait résister. Et cependant une grande consolation lui restait : il se sentait encore nécessaire. Sa fille, charmante jeune femme, s'était réfugiée près de lui avec ses quatre enfants, laissant leur père où le retenait le devoir, dans Paris assiégé. Elle était dans un état qui réclamait du calme et les plus grands ménagements; mais ces choses ne se

pouvaient obtenir alors. Pendant ce long hiver, le vieux manoir breton était bien lugubre avec ses landes couvertes de neige et ses bois dépouillés qu'animaient seules les rafales des vents de mer, les cruelles angoisses étaient incessantes, les nuits n'avaient pas de sommeil, les sourires des enfants n'excitaient plus que des larmes. C'était trop : Mme de Villiers ne survécut que de quelques jours à ses couches, son nouveau-né la suivit de près, et la vie, désormais sans but suffisant, de son malheureux père s'éteignit peu à peu. La mort de M. Avril fut du moins sans souffrances, et il l'accueillit comme un terme aux douloureuses pensées et une porte ouverte aux espoirs suprêmes.

N° 9

NOTE

Sur un appareil propre à donner la surface, le moment d'inertie et les coordonnées du centre de gravité d'une aire plane,

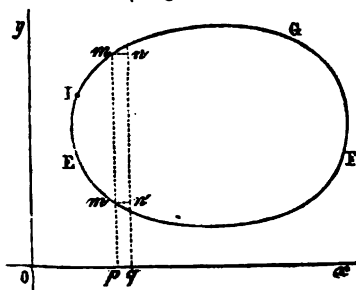
Par M. Ed. COLLIGNON, ingénieur des ponts et chaussées.

L'*intégromètre* de M. Marcel Deprez, ingénieur civil, est un instrument destiné à faire connaître, presque sans calcul, l'aire, les coordonnées du centre de gravité, et le moment d'inertie d'une figure plane quelconque. C'est une extension de l'appareil connu sous le nom de *planimètre d'Amsler* (*), dont l'usage est si répandu parmi les ingénieurs étrangers.

Avant de faire la description de l'instrument, nous rappellerons quelques principes d'analyse.

Soit (*fig.* 1) EGF un contour fermé, rapporté à deux axes rectangulaires Ox, Oy. Appelons Ω l'aire comprise dans ce contour, y_1 l'ordonnée de son centre de gravité, I son moment d'inertie par rapport à l'axe Ox, et ρ son rayon de gyration par rapport au même axe. On déterminera ces diverses quan-

Fig. 1.



(*) *Annales* des ponts et chaussées, 1868, t. XVI, p. 224. Chronique. Note de M. Petsch.

tités en faisant les intégrales doubles :

$$\Omega = \int\int dydx,$$
$$\Omega y_1 = \int\int y\, dydx,$$
$$I = \Omega\rho^2 = \int\int y^2\, dydx.$$

Les sommations doivent s'étendre à tous les éléments superficiels de l'aire donnée.

Considérons en particulier l'intégrale $\Omega = \int\int dydx$; nous pouvons faire porter la première intégration sur dy, ce qui donne $\int ydx$. Pour faire la seconde sommation entre les limites convenables, imaginons qu'on dirige l'opération à l'aide d'un point mobile, défini par les valeurs simultanées de x et de y, qui partirait d'un point quelconque I du contour donné, et qui reviendrait à ce point I après avoir suivi en entier le périmètre du contour dans le sens IGFE. L'intégrale $\int ydx$ prise le long de la courbe fermée IGFEI sera égale à l'aire Ω comprise dans cette courbe, car cette intégrale est la somme algébrique des éléments superficiels positifs, tels que $mnqp$, et des éléments négatifs, tels que $m'n'qp$, c'est-à-dire en définitive, la somme des éléments $mnn'm'$, qui font partie de l'aire cherchée.

Les autres intégrales donneraient de même :

$$\Omega y_1 = \frac{1}{2} \int y^2 dx,$$

et

$$I = \Omega\rho^2 = \frac{1}{3} \int y^3 dx,$$

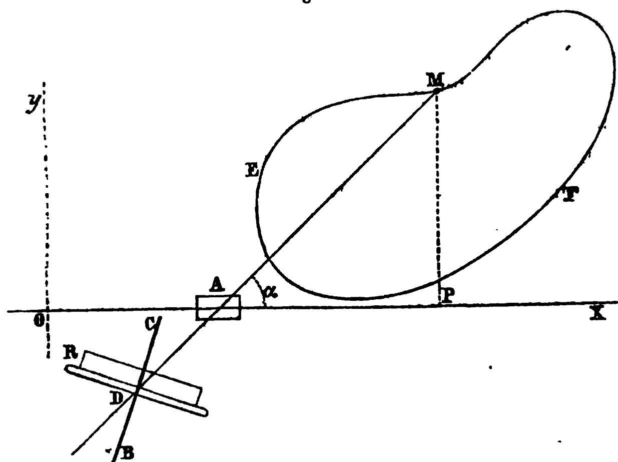
les quadratures indiquées devant être prises le long du contour fermé, de manière que le point mobile qui dirige l'intégration revienne à son point de départ.

Ces formules sont la base de la méthode de M. Deprez.

Son appareil (*fig.* 2) se compose essentiellement : 1° d'une

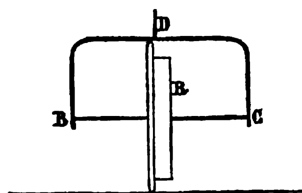
règle OX, que nous prendrons pour axe des x, et le long de laquelle peut glisser librement un coulisseau A ; 2° d'une

Fig. 2.



tige rectiligne MAD qui pivote librement autour du coulisseau A, et qui porte à l'une de ses extrémités M un style avec lequel on suit le contour de la figure donnée EF ; à l'autre extrémité D, elle porte un étrier dont l'élévation est représentée dans la *fig.* 3. Les branches de l'étrier D sont traversées par l'axe horizontal BC d'une roulette R, qui roule sur le plan de la figure.

Fig. 3.



Une disposition qui sera indiquée plus loin, oriente à chaque instant l'axe BC dans une direction faisant avec la règle OX un angle β qui dépend, suivant une certaine loi, de l'inclinaison $\alpha = \text{MAX}$, prise par la tige. La circonférence de la roulette porte un rebord sur lequel s'effectue le roulement, et, latéralement à ce rebord, un tambour d'un diamètre un peu plus petit, qui est divisé en 100 parties égales. Un vernier et un disque totaliseur solidaires de l'étrier, permet-

tent d'estimer les dixièmes de division et d'évaluer le nombre de tours de la roulette. Ces appareils accessoires ne sont pas représentés dans les *fig.* 2 et 3.

Théorie de l'instrument. — Nous prendrons la droite OX pour axe des abscisses x, et une perpendiculaire Oy à cette droite pour axe des ordonnées y.

Nous allons évaluer l'arc linéaire que la roulette applique sur le papier, quand on fait suivre au style un élément infiniment petit MM' du contour donné (*fig.* 4). Nous pou-

Fig. 4.

vous remplacer cet élément par ses projections MN, NM' parallèles aux axes coordonnés, et au lieu du déplacement MM' qu'on imprime en réalité au style, considérer les composantes de ce déplacement,

$$MN = dx, \quad NM' = dy.$$

En vertu du déplacement dx, la tige DAM se transporte parallèlement à l'axe OX, et la roulette R subit, par suite,

une translation DE égale et parallèle à dx ; pour évaluer la rotation qui en résulte autour de son axe CB, nous décomposerons cette translation DE en deux composantes, l'une DF perpendiculaire, l'autre FE parallèle à cet axe. Appelons β l'angle que fait la direction CB avec OX, nous aurons :

$$DF = DE \sin\beta = dx \sin\beta,$$

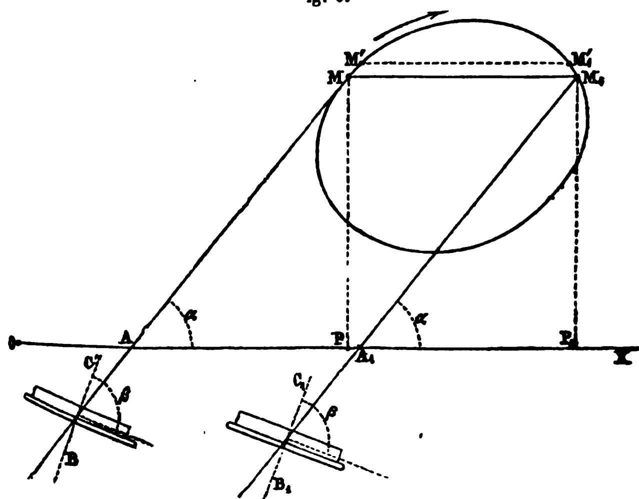
et

$$FE = dx \cos\beta.$$

Ce dernier déplacement FE est parallèle à l'axe de rotation de la roulette ; il ne contribue donc pas à la faire tourner. Le premier déplacement DF produit au contraire un roulement du rebord sur le plan de la figure et, par conséquent, le déplacement horizontal dx du style M a pour effet d'imprimer à la roulette un roulement $da = dx \sin\beta$, ce roulement étant mesuré par la longueur de l'arc qui vient s'appliquer sur le plan du papier.

Pendant le déplacement dy, le point de contact de la

ig. 5.



roulette décrit un certain élément de courbe, et la roulette applique sur le papier un arc élémentaire qu'il est inutile de calculer. Considérons, en effet (*fig.* 5), sur le contour fermé, les points M_1 et M'_1 qui ont respectivement les mêmes ordonnées, y et $y + dy$, que les points M et M'. Lorsque le style, dans son mouvement, passera du point M'_1 au point M_1, l'arc élémentaire décrit par la roulette en vertu du déplacement vertical $-dy$, aura une valeur égale, mais de signe contraire, à celle qu'il a eue dans le passage du point M au point M' en vertu du déplacement $+dy$. Car dans les deux positions correspondantes aux points M et M_1, la tige porte-style se trouve, par rapport à l'axe OX, dans des positions identiques. Elle fait avec cet axe le même angle α, ce qui assure à l'axe de la roulette la même orientation.

Il résulte de là que la somme algébrique des arcs élémentaires décrits par la roulette, en vertu des déplacements du style parallèles à l'axe des y, s'annule d'elle-même lorsqu'on la prend entre deux points M et M_1 qui ont des ordonnées égales; il en est de même lorsque le style, après avoir décrit le contour fermé EF, revient à son point de départ. L'arc total décrit par la roulette dans ces conditions est donc l'intégrale définie de l'expression

$$da = dx \sin \beta. \tag{1}$$

D'ailleurs y étant la distance MP du point M à l'axe OX, α, l'angle MAX, et l la longueur constante AM, on a :

$$\sin \alpha = \frac{y}{l}. \tag{2}$$

Cela étant, supposons qu'on ait établi entre les angles α et β une certaine relation, et examinons particulièrement les trois cas suivants :

$$\beta = \alpha, \quad \beta = 2\alpha + \frac{\pi}{2} \quad \text{et } \beta = 3\alpha,$$

qui vont nous conduire à la détermination des aires, des centres de gravité et des moments d'inertie.

Premier cas : $\beta = \alpha$. *Évaluation des aires.* — On a alors :

$$\sin\beta = \sin\alpha = \frac{y}{l},$$

et en vertu de la relation (1),

$$da = \frac{y}{l}\,dx.$$

Soit a_1 l'intégrale de da étendue au contour entier, et fournie par la lecture de l'arc total développé dans le mouvement de la roulette ; on aura :

$$a_1 = \frac{\int y dx}{l},$$

l'intégrale étant prise le long du contour donné. Donc

$$\int y dx = l a_1.$$

Or on a vu que l'intégrale $\int y dx$ n'est autre chose que l'aire de la figure.

Second cas : $\beta = 2\alpha + \frac{\pi}{2}$. — *Détermination du centre de gravité.* On a :

$$\sin\beta = \sin\left(2\alpha + \frac{\pi}{2}\right) = \cos 2\alpha = 1 - 2\sin^2\alpha,$$

et en vertu de la relation (2),

$$\sin\beta = 1 - \frac{2y^2}{l^2};$$

donc

$$da = \left(1 - \frac{2y^2}{l^2}\right) dx,$$

et en désignant par a_2 l'intégrale étendue à tout le contour et lue sur la roulette :

$$a_2 = -\frac{2\int y^2\,dx}{l^2},$$

car le terme en x s'annule aux limites, et enfin

$$\int y^2\,dx = -\frac{l^2 a_2}{2}. \tag{4}$$

La moitié de cette intégrale divisée par l'aire de la figure donne l'ordonné y_1 du centre de gravité. Donc :

$$y_1 = \frac{\frac{1}{2}\int y^2\,dx}{\int y\,dx} = -\frac{\frac{1}{2}\,\frac{l^2 a_2}{2}}{l a_1} = -\frac{l}{4}\cdot\frac{a_2}{a_1}.$$

Troisième cas : $\beta = 3\alpha$. — *Détermination du moment d'inertie.* — En opérant comme précédemment, on aura :

$$\sin\beta = \sin 3\alpha = 3\sin\alpha - 4\sin^3\alpha = \frac{3y}{l} - \frac{4y^3}{l^3},$$

$$da = \left(\frac{3y}{l} - \frac{4y^3}{l^3}\right)dx.$$

Soit a_3 l'intégrale de da étendue au contour entier :

$$a_3 = \frac{3\int y\,dx}{l} - \frac{4\int y^3\,dx}{l^3},$$

les sommes étant étendues au même contour. Donc

$$\int y^3\,dx = \frac{l^3}{4}\left(\frac{3\int y\,dx}{l} - a_3\right).$$

Mais comme

$$\int y dx = l a_1,$$

il vient

(5) $$\int y^3 dx = \frac{l^3}{4}\left(3a_1 - a_3\right).$$

Le tiers de cette intégrale est le moment d'inertie de la figure par rapport à OX, et le quarré du rayon de gyration s'obtiendra en divisant encore par la surface, ce qui donne

$$\rho^2 = \frac{\frac{1}{3}\int y^3 dx}{\int y dx} = \frac{l^2}{12}\cdot\frac{3a_1 - a_3}{a_1}.$$

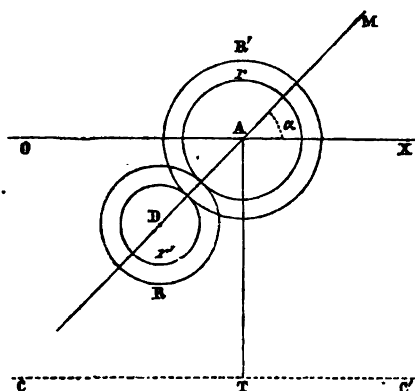
Moyen employé pour réaliser à volonté les relations

$$\beta = \alpha, \quad \beta = 2\alpha + \frac{\pi}{2}, \quad \beta = 3\alpha.$$

La relation $\beta = \alpha$ s'obtient en fixant l'étrier dans le prolongement de la tige AM. Au lieu de faire suivre à l'axe A une règle matérielle OX, on le guide suivant cette droite au moyen d'une tige AT, dont l'extrémité T, formant double équerre, glisse dans la rainure d'une règle fixe CC', qui la maintient constamment perpendiculaire à sa direction.

La tige rectiligne DAM (*fig.* 6), mobile autour de l'axe A, porte en M le style avec lequel on suit le contour donné, et en D l'axe vertical de l'étrier, entre les branches duquel tourne la roulette. Cet axe D est solidaire de deux roues dentées R, r', de diamètre inégal, qui engrènent constamment avec deux autres roues, r et R', folles sur l'axe A.

Fig. 6.



Chacune des roues R', r porte à sa circonférence un trou dans lequel on peut enfoncer une petite vis fixée à la tige AT, ce qui permet de fixer l'une quelconque de ces roues et d'empêcher sa rotation. Tout son mouvement se réduit alors à une translation parallèle à CC'. L'une des roues dentées dont le centre est en D, la roue r' par exemple, qui engrène avec la roue R' ainsi fixée, se meut alors *planétairement* autour de A. Désignons par α l'angle MAX, et par β l'angle que fait avec OX, à un instant donné, une droite liée invariablement à r', et choisie de façon que $\beta = 0$ quand $\alpha = 0$, on aura d'après les propriétés connues des engrenages planétaires :

$$\beta = \alpha \left(\frac{R'}{r'} + 1\right).$$

Si l'on fait successivement $R' = r'$ et $R' = 2r'$, on aura donc $\beta = 2\alpha$ et $\beta = 3\alpha$.

Ce sont précisément les deux cas réalisés dans l'instrument, où l'on a $\frac{R'}{r'} = 2$ et $\frac{r}{R} = 1$. Il en résulte que suivant que l'on fixe la roue R' ou la roue r, l'angle β sera égal à 3α ou à 2α.

Pour rendre β égal à $2\alpha + \frac{\pi}{2}$, il suffira de placer l'axe de la roulette à angle droit sur OX au commencement de l'observation, lorsque AM est dirigé suivant cette même droite. On y parvient en faisant usage d'une des vis et du trou correspondant pratiqué dans la roue r.

Vérification et usage de l'instrument. — Pour s'assurer que l'intégromètre est bien réglé et qu'il peut donner des résultats exacts, on doit vérifier s'il satisfait aux conditions suivantes.

1° L'instrument étant mis en place, on amène le style sur la ligne OX, et l'on dirige l'étrier ou, ce qui revient au

même, l'axe horizontal de la roulette, suivant cette même droite. Cela est facile, grâce à un trou pratiqué dans la roue r, que l'on amène en face de la vis fixée dans la tige AT. Puis on serre une vis (non représentée sur la figure), qui a pour but de rendre l'axe vertical de l'étrier solidaire de la tige DM. Cela fait, on rend la liberté aux deux roues r et R' et, après avoir placé le zéro de la roulette en face du zéro du vernier, on suit avec le style la ligne OX. Dans ce cas la roulette ne doit prendre aucun mouvement et rester au zéro de sa graduation.

2° On desserre la vis qui rendait l'axe vertical de l'étrier solidaire de la tige DM, et l'on oriente l'axe horizontal de la roulette perpendiculairement à la ligne OX ; le second trou pratiqué dans la roue r se trouve alors en face de la vis correspondante à cette roue ; on enfonce cette vis de façon à rendre la roue r solidaire de la tige AT, et l'on place le style M sur une droite parallèle à OX et distante de cette dernière d'une quantité égale à

$$AM \times \sqrt{\frac{1}{2}} = 0.7071 \text{ AM}.$$

Dans cette position la droite AM fait avec OX un angle de 45 degrés ; si les engrenages sont bien faits, l'axe vertical de l'étrier devra avoir tourné d'un angle double, c'est-à-dire de 90 degrés, et l'axe horizontal de la roulette sera parallèle à OX. Si donc, dans cette position, on amène le zéro de la roulette devant le zéro du vernier, il devra rester immobile pendant que le style décrit une droite parallèle à OX.

3° Pour vérifier les engrenages R' et r', on desserre la vis correspondante à r, on met en prise celle qui correspond à R', puis on suit avec le style M une autre droite parallèle à OX, mais située à une distance de cette dernière égale à

$$AM \times \frac{1}{2}\sqrt{3} = AM \times 0.866;$$

la tige AM fait alors avec OX un angle de 60 degrés et par suite l'axe horizontal de la roulette devra avoir tourné dans le plan horizontal d'un angle triple, c'est-à-dire de 180 degrés; lorsqu'on fera suivre au style la nouvelle parallèle à OX, la roulette devra, comme dans les cas précédents, rester au zéro de sa graduation.

Détermination de l'aire d'une figure. — On place l'instrument comme cela a été indiqué dans la première vérification, puis on suit le contour de la figure en tournant dans le sens des aiguilles d'une montre, jusqu'à ce qu'on soit revenu au point de départ. L'aire de la figure a pour expression :

$$\int y dx = a_1 l,$$

a_1 étant l'arc linéaire dont la roulette a tourné autour de son axe horizontal, et l la longueur AM. Pour déterminer a_1 il ne suffit pas de lire le nombre de divisions qui mesure la rotation totale de la roulette, il faut encore connaître la valeur λ de l'arc linéaire qui correspond à une de ces divisions. La valeur de λ peut s'obtenir de deux façons :

1° En décrivant avec le style une figure géométrique de surface connue ; soit A l'aire de cette figure, n'_1 le nombre de divisions indiqué par la roulette après l'opération, on aura :

$$A = l \times a_1 = l \times n'_1 \times \lambda \quad \text{d'où } \lambda = \frac{A}{l n'_1}.$$

Cette constante une fois déterminée, on aura la valeur de l'aire d'une figure quelconque pour laquelle la roulette aura tourné de n_1 divisions par la formule

$$\int y dx = n_1 \lambda l.$$

Les constantes l et λ sont les *paramètres* spéciaux de l'instrument que l'on emploie.

2° On peut encore obtenir la valeur de λ en plaçant l'axe

horizontal de la roulette perpendiculairement à OX, puis en suivant cette droite avec le style, jusqu'à ce que la roulette ait tourné de 100 divisions, ou qu'elle ait accompli un tour entier. On mesure le chemin décrit par le style et la valeur de λ est égale à ce chemin divisé par 100.

Détermination du centre de gravité. — On dispose l'appareil comme pour la seconde vérification, on met la roulette au zéro, puis on décrit la figure avec le style dans le sens indiqué ci-dessus. La distance y_1 du centre de gravité à OX a pour valeur :

$$y_1 = -\frac{l}{4} \cdot \frac{n_2}{n_1},$$

n_1 et n_2 étant respectivement les nombres des divisions lues dans la détermination de l'aire et dans l'opération actuelle. Pour éviter la confusion qui résulterait de ce que y_1 est affecté du signe —, il est utile de placer l'instrument de façon que le centre de gravité soit situé au delà de OX par rapport à la règle fixe CD (*fig.* 6), condition facile à satisfaire *a priori*. La recherche de la position précise du centre de gravité exige, toutes les fois que la figure donnée n'est pas symétrique, que l'on répète l'opération par rapport à un axe non parallèle à OX.

Détermination du moment d'inertie. — On dispose l'instrument comme dans la troisième vérification ; on décrit le contour toujours dans le sens du mouvement des aiguilles d'une montre, et l'on note la troisième lecture n_3. La valeur du moment d'inertie est :

$$\frac{1}{2}\int y^2 dx = \frac{l^2}{12} \lambda (3n_1 - n_3),$$

et celle du quarré du rayon de gyration :

$$\rho^2 = \frac{l^2}{12} \cdot \frac{3n_1 - n_3}{n_1}.$$

Telle est la description du nouvel appareil de M. Deprez. L'usage en est simple et facile. L'instrument permet d'effectuer rapidement et sans erreur des opérations considérées jusqu'ici comme très-laborieuses, surtout lorsqu'il s'agit de contours tourmentés, difficilement réductibles à de simples formes géométriques.

Le principe de l'appareil est d'une grande fécondité, car rien n'empêche de remplacer les engrenages planétaires qui rendent le rapport $\frac{\beta}{\alpha}$ égal à 2 ou à 3, par un système de roues réalisant un rapport quelconque. Si l'on se borne à considérer les valeurs entières p de ce rapport, $\sin p\alpha$, si p est impair, et $\sin\left(p\alpha + \frac{\pi}{2}\right)$ ou $\cos p\alpha$, si p est pair, sont exprimables par des polynomes entiers du degré p en $\sin \alpha$. Or $\sin^p \alpha$ introduit dans le calcul la $p^{\text{ième}}$ puissance de l'ordonné y ; un appareil analogue, monté un peu différemment, permettrait donc d'évaluer l'intégrale $\int y^p dx$ prise le long d'un contour fermé ; cette somme s'exprimerait en fonction des intégrales

$$\int y^{p-2} dx, \quad \int y^{p-4} dx \ldots$$

qu'on aurait à prendre le long du même contour, et qu'on obtiendrait encore par l'emploi du même instrument, après en avoir changé la monture.

M. Deprez a reconnu le parti qu'on pouvait tirer de cette remarque pour résoudre graphiquement les équations algébriques d'un degré quelconque, et, par une modification ingénieuse de son instrument, il a su affranchir l'opération de la nécessité où l'on se trouverait de faire le tour entier de la figure, et de revenir au point de départ dans les essais successifs.

En résumé, et pour revenir à l'appareil spécial que nous avons décrit, l'intégromètre est un instrument sim-

ple, peu coûteux, d'un maniement facile, et qui paraît appelé à rendre les plus grands services, car il est peu d'études où l'on n'ait à évaluer des surfaces, à déterminer des centres de gravité, ou à chercher les moments d'inertie de certaines figures planes (*), et il est à souhaiter que cet appareil entre dans les habitudes des ingénieurs, auxquels il procurera une économie de temps et de peines.

(*) Centre de pression des aires planes baignées par un liquide pesant, résistance des matériaux, stabilité des corps flottants, etc.

N° 10

NOTE

Sur les travaux de restauration exécutés à l'écluse du bassin à flot de Calais, de 1864 à 1868.

Par M. ARON, ingénieur des ponts et chaussées.

L'écluse du bassin à flot de Calais, exécutée de 1837 à 1842, est une écluse simple de 17 mètres d'ouverture et de 40 mètres environ de longueur (*fig.* 1, 2, Pl. 6). Elle a été établie sur un massif général de béton de chaux et pouzzolane de Calais, recouvert par une maçonnerie de briques et un dallage en pierres de taille, avec busc arrasé à $0^{m},35$ au-dessus du niveau des basses mers de vive eau ordinaire. Ce radier, de 58 mètres de longueur et $1^{m}.80$ d'épaisseur (sauf trois parafouilles de $2^{m}.80$ d'épaisseur à l'amont, à l'aval et vers le busc), est compris entre deux files de pieux et palplanches jointifs de 5 mètres et $4^{m}.50$ de fiche. Il était prolongé à l'amont par un avant-radier de 15 mètres de longueur, composé de fascinages chargés de galets et de blocailles, et à l'aval par un avant-radier identique rechargé plus tard en libages.

L'écluse a été mise en service en novembre 1842. Dès 1847 (d'après les récits des éclusiers, confirmés par un plan sans date existant dans les archives du service), il paraît qu'un grand nombre de bouillons se produisirent à l'aval des portes. On injecta alors dans le radier, par trois trous pratiqués dans les pierres du busc, du ciment roux, à prise lente, de provenance anglaise, jusqu'à faire refluer

ce ciment par tous les joints des dalles, et la filtration fut arrêtée. Cet accident ne paraît pas s'être renouvelé de 1847 à 1864. Il convient d'observer toutefois : 1° Qu'un heurtoir placé sur le radier, immédiatement à l'amont de la chambre des portes, pour la protéger, avait déterminé un envasement de 0m.30 d'épaisseur sur toute l'étendue du radier amont, et que le bassin à flot lui-même était fortement envasé ; 2° Que les vannes des portes étaient hors de service, d'où résultait un autre dépôt de vase et de moules de même épaisseur sur le radier aval ; 3° Que les portes elles-mêmes perdaient énormément, de sorte que le radier aval était toujours couvert d'eau et la charge d'eau des portes à basse mer notablement réduite.

A la fin de 1863, les vieilles portes du bassin furent remplacées par des portes neuves remarquablement étanches, et le radier d'aval dévasé fut mis à découvert par les chasses des ventelles de ces portes. Au bout de quelques semaines (février 1864), on observa quelques bouillons d'eau à l'aval des portes, et dans la vive eau suivante on constata :

Que le dallage du radier (partie centrale) était soufflé.

Que sous les dalles, partout où les eaux souterraines avaient pu se frayer un passage, les mortiers étaient en pleine décomposition.

Quand on remuait la vase à l'amont du busc, l'eau arrivait trouble dans la fouille ouverte à l'aval.

Des mesures prises d'urgence et approuvées par l'administration, le 31 mars 1864, pour fermer les orifices d'aval de ces sources (en substituant aux dalles et au béton décomposé du radier aval, à l'emplacement de ces orifices, près la partie centrale du busc, du béton au ciment Portland), n'eurent d'autre effet que de déplacer les filtrations, lesquelles se multiplièrent continuellement du mois d'avril au mois d'août. Le 19 août, le radier d'aval était criblé d'une trentaine de filtrations. Une décision ministérielle du 8 juin 1864 prescrivit d'étendre à tout le radier de la

chambre des portes le mode de réparation (enlèvement du dallage soufflé et grattage au vif du béton des fondations) appliqué à une portion du radier à l'aval du busc, en mars 1864. Une décision postérieure, du 19 août, prescrivit de baisser en même temps le radier de la chambre des portes et de déraser le busc en son milieu au niveau général du reste du radier, de manière à augmenter de 0m.35 le tirant d'eau de l'écluse, en supprimant la saillie du busc sur le radier aval.

En raison de diverses circonstances, le travail, ainsi défini, n'a été entrepris qu'en novembre 1864. Ce délai permettait de laisser au commerce de Calais la jouissance de l'unique bassin à flot du port pendant la saison d'été (saison des arrivages de la Baltique et de la mer du Nord), faculté qu'on a cherché à ménager pendant la durée de la plus grande partie des travaux. De même, pour donner au commerce pendant l'hiver la possibilité d'utiliser dans une certaine mesure le bassin à flot comme bassin d'échouage, on a dû renoncer à l'emploi des bâtardeaux insubmersibles qu'on avait eu quelque temps en vue. On se décida, en définitive, à travailler à la marée, en épuisant entre deux bâtardeaux de 1m.60 de hauteur.

Ces bâtardeaux (*fig.* 3, 4, Pl. 6) étaient composés d'un d'un coffrage en sapin formé par de petites fermes en croix de Saint-André, espacées de 1 mètre, bordées et retenues à leur pied par des heurtoirs fixés dans le radier avec des doguets scellés. Ce coffrage une fois placé était rempli de glaise bien pilonnée. La mise en place des fermes, le scellement des doguets et le remplissage du coffrage s'opéraient pendant les grandes marées, entre deux lignes de petits bâtardeaux de 0m.60 de hauteur formés par des coffrages en planches remplis de glaise, posés sur le radier. Deux nocs en bois permettaient aux eaux du bassin de s'écouler pendant l'épuisement.

Comme ces nocs ne suffisaient pas (surtout pendant les

chasses), on adapta en outre au bâtardeau d'amont des hausses mobiles.

Les appareils d'épuisement se composaient de deux pompes rotatives (système Neut et Dumont), actionnées par deux locomobiles d'une puissance totale de 21 chevaux; le débit de ces appareils était par minute de 15 mètres cubes au moins d'eau élevés à une hauteur moyenne de 2m.80, correspondant à un rendement d'environ 41 p. 100.

Aussitôt qu'on eut commencé le démontage des dalles du radier et la démolition de la maçonnerie de briques servant à arraser le béton, on remarqua que le béton de la chambre des portes était beaucoup plus mauvais que celui du radier aval; le béton dur ne se rencontrait généralement qu'à 0m.90 en contre-bas du radier, et encore la première couche de ce béton se délavait rapidement au contact de l'eau de mer. Au pied du bajoyer nord tout le massif de béton était décomposé et remplacé par des galets et du sable. Malheureusement le mode de fondation de l'écluse (sur radier général en béton, sans pilotis) ne permettait pas de descendre très-bas les fouilles, surtout contre le bajoyer nord; sur ce point on poussa la fouille à 1m.30 environ en contre-bas de l'ancien radier, en prenant la précaution de la laisser ouverte le moins longtemps possible et par parties seulement; lors du remplissage on coula le béton assez avant sous la fondation du bajoyer.

Plusieurs filtrations assez intenses jaillissaient dans la fouille, deux dans la mauvaise portion du radier longeant le bajoyer nord, une troisième immédiatement en amont du busc, à 3m.10 de la bourdonnière sud, cette dernière variant avec la marée. Ces sources furent renfermées dans des cheminées verticales en planches ou en maçonnerie de briques, et étouffées quand le béton environnant fut arrivé à un degré de dureté suffisant, au moyen de ciment à prise rapide de Boulogne; on arrasa ensuite le béton au-dessus du ciment; une quatrième source sous le noc fut renfermée et

étouffée dans un tube en zinc; on continua la réparation à l'aval du busc jusqu'à 1 mètre du pied du bâtardeau aval, et on souda soigneusement les deux portions de radier réparées (chambre des portes et radier aval) au-dessous du busc, lequel avait été dérasé et réglé à 0m.05 en contre-bas des basses mers de vives eaux (soit à 0m.44 en contre-bas de l'ancien niveau du busc soufflé).

On avait ainsi établi au droit du busc, en amont et en aval, un barrage de béton au mortier Portland reposant sur l'ancien béton passablement sain, et fermé tous les orifices ouverts dans la chambre des portes. En même temps l'abaissement projeté avait été réalisé et même dépassé pour le radier de la chambre des portes (il restait à le compléter en dérasant les radiers d'amont et d'aval).

Puis on remit en place les nouvelles portes, rallongées au moyen de fourrures boulonnées sur l'entretoise inférieure, et on referma les portes le 30 mars 1865. Mais alors on observa immédiatement, dès la marée suivante, de nouveaux bouillons à travers le radier d'aval, à l'aval de la partie réparée.

Les premiers étaient à 8 mètres environ des portes. Ces bouillons étaient très-nombreux et plus intenses qu'en 1864; sous une charge de 5m.50, ils jaillissaient à une hauteur de 0m.40 environ, et le 16 avril ils enlevèrent une dalle du radier; comme les orifices de la chambre des portes venaient d'être bouchés, ils provenaient, selon toute apparence, d'autres orifices existant dans le radier amont, découverts par suite du dévasement à vif qui avait été exécuté sur ce radier. En effet, quand on eut recouvert à nouveau le radier amont d'une couche de glaise de 0m.25 d'épaisseur, les filtrations parurent diminuées, et l'on réussit à garder le bassin à flot sous une charge réduite (4 mètres à 4m.50) pendant l'été de 1865.

Le 13 octobre 1865, l'administration décida que le système de réparation appliqué à la chambre des portes serait

étendu aux radiers d'amont et d'aval, et qu'en outre on établirait dans le corps du radier, pour arrêter les filtrations, une ou plusieurs tranchées, remplies de béton au ciment Portland de Boulogne et descendant aussi bas que possible. Les ingénieurs avaient proposé dans le même but l'injection au mortier de ciment Portland des parties inférieures du radier. La nature des fondations de l'écluse ne permettant pas d'ailleurs de descendre à toute profondeur entre les bajoyers les cloisons dont l'établissement était prescrit, on fut amené à choisir pour l'emplacement de la cloison principale le parafouille existant à 8 mètres à l'amont de la tête de l'écluse.

Le travail ainsi déterminé avait, en définitive, pour objet : 1° l'établissement à l'amont de l'écluse d'une cloison transversale imperméable contre les eaux d'amont. Cette cloison fut composée d'un avant-radier en terre glaise de Watten de 1m.30 d'épaisseur, remplaçant l'ancien avant-radier perméable en galets et fascinages, et d'un mur en béton de Portland de 1m.80 d'épaisseur, reposant sur les couches reconnues partout saines de l'ancien parafouille, donnant par conséquent une épaisseur totale de 2m.80 de bon béton; 2° le remaniement de la partie supérieure des radiers amont et aval, et le remplacement du dallage soufflé et du béton décomposé par une couche de béton de Portland de 0m.70 à 0m.80 de hauteur générale, combiné avec le remplissage des vides de la partie inférieure, au moyen d'injections au mortier de ciment Portland.

Les travaux furent repris (par la pose des bâtardeanx) en novembre 1865.

Les bâtardeaux (*fig.* 5, 6, Pl. 6) étaient disposés de manière à comprendre la moitié sud du radier amont. On réemploya, à cet effet, les anciens bâtardeaux et on disposa, pour le nouveau bâtardeau d'amont, des fermes plus larges de base, qui furent logées dans l'avant-radier d'amont et retenues à l'aval sur la file des pieux et palplan-

ches de tête du radier. On était dispensé de l'établissement des nocs, l'écoulement des eaux du bassin étant assuré par la partie nord du radier laissée en dehors de la fouille. Les difficultés d'épuisement se trouvèrent ainsi diminuées avec la charge des bâtardeaux, et la durée de l'épuisement fut réduite à 37 ou 40 minutes. Le puisard des pompes rotatives était établi dans l'emplacement du parafouille. Les pompes Letestu, menées à bras, servaient aux épuisements des fouilles partielles.

On commença à démonter le dallage en décembre 1865, peu après l'on entreprit le coulage du béton et le percement des trous d'injection (au moyen de barres à mine et de cuillers). Ces trous étaient tubés au moyen de tubes en fonte de 0m.90 et 1m.80 de longueur, et injectés au mortier de ciment Portland au moyen de pompes foulantes analogues à celles qui ont été employées à Dunkerque pour la réparation de l'écluse de Bergues (*Annales des ponts et chaussées*, 1868).

Dans cette partie du radier on ne rencontra que deux sources, l'une à l'angle du bajoyer sud et du mur en retour, l'autre, plus puissante, à l'intersection du parafouille et du radier, à 5m.80 de l'axe de l'écluse; après les avoir laissé quelque temps donner dans des conduits, on les étouffa sans difficulté par les injections. Pendant le coulage du béton environnant on pompait la source dans le tube pour l'empêcher de délaver le béton; on attendait ensuite cinq ou six jours pour laisser durcir le béton, avant de remplir le tube.

Le nouveau parafouille fut également coulé sur le bon fond, qu'on trouva à 1 mètre environ le long du mur en retour, et à 1m.80 dans l'ouverture de l'écluse.

On continua alors (février 1866) le montage des bâtardeaux pour enfermer entre eux la partie nord du radier amont, et l'on commença avec une drague à treuil l'enlèvement des blocailles et fascinages de l'ancien avant-radier.

Dans la nouvelle fouille on rencontra encore deux filtrations : l'une au pied du mur en retour nord, et l'autre, extrêmement intense, à la jonction de l'ancien parafouille et du radier, à 9^{m}.80 de l'axe de l'écluse (c'est-à-dire sensiblement dans le prolongement du parement du bajoyer nord). En ce point, le radier et l'ancien parafouille, sur 1^{m}.80 de hauteur, étaient entièrement décomposés, le béton était remplacé par un massif de galets et de sable se prenant à la pelle. Pour couler le parafouille nouveau dans de bonnes conditions, on dut l'isoler de ces filtrations par un bâtardeau longitudinal, composé de coffres remplis d'argile; en arrière des coffres on chargea la source avec de la paille et des galets pour filtrer l'eau et empêcher de remonter le sable qu'elle charriait; puis on coula par pièces le radier en aval du nouveau parafouille, en faisant monter les filtrations dans des tubes. Enfin on injecta les tubes quand le béton du radier fut convenablement durci. Tous ces tubes communiquaient entre eux et absorbèrent une grande quantité de mortier (jusqu'à 22 fois le volume du tube).

Dans cette reprise du radier amont on se rattacha au nouveau radier de la chambre des portes, qui fut reconnu en parfait état. De plus, comme il était à craindre que la liaison établie en 1865 entre le radier de la chambre des portes et le radier d'aval n'eût été rompue par le passage des filtrations en 1865, on perça des trous dans les dalles du busc et on les injecta. Mais cette opération ne réussit pas (ainsi qu'on en eut la preuve peu de temps après), sans doute parce que les petits canaux souterrains établis sous le busc se trouvaient bouchés en partie et remplis de vase et de moules, depuis que le bassin à flot avait cessé de fonctionner.

En même temps on poursuivait le dragage de l'ancien avant-radier, et on commençait le coulage de la terre grasse de Watten (mars 1866) ; quand on eut formé à l'angle sud

du mur en retour une première couche dépassant le niveau de l'eau, on roula les brouettes en déchargeant sur le tas de manière à le faire descendre par son propre poids et à commencer dans de bonnes conditions le damage, qui se trouvait ensuite achevé par la charge d'eau résultant des marées et l'échouement des bateaux remplis de glaise.

La réparation du radier amont étant terminée, on referma les portes le 1er juin 1866 et, quatre jours après, on observa encore dans le radier aval des bouillons, moins nombreux et intenses toutefois qu'en 1865. Cette fois le mal provenait uniquement de la chambre des portes; car ces filtrations, qui étaient bien visibles avec 2 mètres de hauteur d'eau dans le bassin, disparurent complétement quand on eut jeté à travers l'écluse et à l'amont de la chambre des portes un bâtardeau de 2 mètres de hauteur. Il était donc certain que la liaison entre la chambre des portes et le radier aval était de nouveau rompue. On renonça dès-lors à mettre le bassin en service pendant l'été de 1866, et l'on plaça (*fig.* 7. 8, Pl. 6) un second bâtardeau contre la tête aval de l'écluse, pour exécuter de suite la réparation du radier aval, comprise d'ailleurs dans le programme de la décision du 13 octobre 1865. On se décida en même temps, pour rendre plus complète la liaison entre la chambre des portes et le radier d'aval, à démonter les dalles du busc et à y substituer un dallage en béton de Portland, soudé soigneusement avec le béton coulé en 1864.

La réparation du radier aval dura de juillet à octobre 1866; on trouva facilement le bon béton dans la partie aval de l'écluse, où l'on put constituer une des cloisons indiquées par la décision du 13 octobre 1865. Cette cloison coupait la communication directe entre les eaux de la grande fouille et les eaux d'aval, comme on le constata par l'indépendance des niveaux aux puisards des deux pompes rotatives (placées de part et d'autre de cette cloison). On réduisit également les dimensions de la grande fouille par un

petit bâtardeau intermédiaire transversal placé à 2 mètres en amont du busc. Le travail principal se trouva ainsi limité entre ce bâtardeau intermédiaire et la cloison d'aval, comprenant les orifices d'entrée et de sortie des dernières filtrations. Une visite détaillée du reste de la chambre des portes fit toutefois reconnaître plus tard un léger défaut du radier, défaut qui a été réparé par une injection de mortier.

La partie du radier d'aval qui faisait suite à la réparation de 1864-65 était décomposée sur toute son épaisseur, et ne présentait qu'un mélange de galets et de vase. Il convient d'observer que c'est dans cette partie qu'avaient été repoussés, en 1864 et 1865, presque tous les bouillons. Sur ce point on dut porter l'épaisseur du nouveau béton à 1m.25.

Les injections furent employées exclusivement pour éteindre les sources qui étaient fort nombreuses; nous citerons notamment une filtration jaillissant tout le long du bajoyer nord, dans une fissure qui a été fermée au moyen de six tubes, et une autre beaucoup plus puissante au busc, à 4 mètres de la bourdonnière sud, qu'on a pu diviser et étouffer en injectant successivement neuf tubes après durcissement du béton coulé tout autour.

Pour recueillir plus facilement ces filtrations qui, provenant d'un fond de galets et de sable, ressemblaient à un suintement général, on employait des tubes en tôle terminés à la base par un entonnoir de 0m.40 de diamètre; on épuisait dans ces tubes avec la petite pompe pendant le coulage du béton environnant.

Les coulages de béton du radier aval furent dirigés, comme ceux du radier amont, de manière à déraser toute la surface au niveau du nouveau busc, et à étendre à toute l'écluse l'abaissement réalisé en 1864-65. Toutefois on laissa encore en dehors de ce travail la portion du radier d'aval en aval de la tête de l'écluse, dans laquelle aucune filtration ne s'était produite.

Les portes furent refermées définitivement le 10 novembre 1866, et, à partir de ce moment jusqu'en mars 1868, l'écluse fut remise en service sans aucun incident notable. Toutefois, après les grandes vives eaux d'hiver, on remarqua, dans la partie extrême du radier d'aval laissée en dehors du dernier bâtardeau d'aval, quelques suintements presque insensibles. Le 11 mars 1868, à la suite d'une vive eau extraordinaire, la hauteur d'eau du bassin à flot étant de $6^m.35$ à marée basse, ces suintements se réunirent à l'extrémité du travail fait en 1866, en un point situé sur l'axe de l'écluse et dans l'alignement de la tête d'aval, et prirent brusquement l'intensité d'une forte source.

Aussitôt que les exigences de la navigation le permirent, le 7 avril, on ouvrit les portes du bassin et l'on mit en place de petits bâtardeaux, pour visiter le busc et appliquer à cette dernière partie du radier d'aval le mode de réparation prescrit par la décision du 13 octobre 1865. On fit donner la source dans un gros tuyau et l'on commença à démonter le dallage du radier, sous lequel on trouva le béton très-sain à $0^m.60$ en contre-bas du dessus du dallage; on se borna, par conséquent (*fig.* 9, 10, Pl. 6), à remplacer le dallage, la maçonnerie de briques et la première couche de béton, en réservant des tubes d'injection.

Les bâtardeaux placés dans la chambre des portes avaient permis de constater que de nouvelles fissures s'étaient formées entre la chambre des portes et le busc; on ferma ces fissures au moyen de plaques-cornières en fonte, scellées au ciment de Boulogne à prise rapide dans le radier, et fixées avec des tirefonds sur le faux busc en bois, de reprises en maçonnerie de briques au mortier de ciment de Boulogne, et d'injections au mortier Portland faites au-dessous du busc par des trous pratiqués dans le faux busc. Enfin on remplit les vides produits par le passage des eaux sous le radier d'aval, en rouvrant une partie des tubes injectés en 1866 et recommençant l'injection: on substitua dans la

plupart de ces dernières injections du ciment pur au mortier de sable et ciment, et l'on obtint de meilleurs résultats. Le mortier injecté remplit en refluant l'orifice de la grande source et presque tous les nouveaux tubes placés à la limite aval du travail de 1866. Les autres nouveaux tubes ne prirent presque pas de ciment, ainsi qu'on pouvait s'y attendre, le béton de la partie aval du radier n'ayant pas été décomposé. Le bassin fut remis à flot le 25 mai 1868.

Cette dernière réparation, de courte durée, eut pour effet de compléter le dérasement, à la cote —0m.05, du radier d'aval, et la restauration du massif compris entre les parafouilles extrêmes. Depuis qu'elle a été exécutée on n'a plus remarqué aucun bouillon ni suintement à l'aval. Par mesure de précaution, et aussi pour faciliter le dragage du bassin à flot, exécuté en 1869 à la cote —0m.05 du nouveau radier, on a maintenu longtemps la hauteur d'eau du bassin à flot au-dessous de 5m.50; mais depuis 1870 on atteint 6 mètres, en évitant toutefois, jusqu'à présent, de dépasser notablement ce chiffre (le maximum serait de 6m.50 à basse mer, mais il se produit rarement et n'offre aucun intérêt pour la navigation).

D'après les faits exposés ci-dessus, il y aurait eu économie évidente à poursuivre les travaux de restauration du radier sans interruption ; toutefois, cette économie n'aurait pas été très-importante, parce que le système de bâtardeaux submersibles adopté ne permettait pas d'ouvrir des fouilles plus grandes que celles qui ont été successivement épuisées. D'autre part, un chômage trop persistant du bassin à flot unique que possède le port de Calais aurait peut-être donné lieu à de graves inconvénients.

La dépense totale a été réglée comme il suit (défalcation faite des travaux de dévasement exécutés dans le bassin à flot pendant la restauration du radier) :

NATURE DES TRAVAUX.	DATES des décisions.	DÉPENSES prévues.	DÉPENSES faites.
		francs.	francs.
Abaissement et restauration du radier de la chambre des portes.	15 juin 1864 26 août —	40 000.00	52 852.63
Resteuration générale et abaissement du radier (amont et aval).	13 oct. 1865	100 000.00	139 440.92
Restauration de la partie extrême du radier d'aval.	23 mai 1868	12 000.00	5 306.70
Totaux.	. . . .	152 000.00	197 600.25

D'après le peu de données qu'on retrouve dans nos archives, la dépense de construction de l'écluse et de ses abords dans l'origine a été de 1 200 000 francs environ; elle se trouve ainsi portée à 1 400 000 francs environ.

En résumé (*fig.* 11, 12, Pl. 6), les travaux de réparation exécutés dans les dernières années à l'écluse du bassin à flot de Calais ont compris essentiellement : 1° La reconstruction de l'avant-radier d'amont et du parafouille d'amont, en vue d'établir une cloison imperméable aux eaux d'amont. 2° La substitution d'un massif en béton de ciment Portland de Boulogne à la partie supérieure de tout le radier, et le remplissage des vides de la partie inférieure au moyen d'injections de mortier et de ciment.

Ces travaux n'ont donné de résultat complet que lorsque le barrage, formé primitivement par l'ancien radier, a été rétabli sur sa longueur totale et appuyé aux deux parafouilles d'amont et d'aval.

Enfin, il semble, d'après l'expérience faite en 1868, que, si de nouveaux accidents se produisaient à l'avenir, on pourrait encore y remédier au moyen des tubes d'injection, dont la réouverture permettrait de déterminer la direction des canaux souterrains et de les remplir de ciment, le ciment pur devant être employé de préférence au mortier de sable et ciment.

ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES.

CHRONIQUE.

Mars 1872.

DE L'ÉTANCHEMENT DES SOURCES DANS UN RADIER D'ÉCLUSE.

Extrait d'une lettre adressée au secrétaire de la Commission des Annales par M. Le Blanc.

Ingénieur en chef des ponts et chaussées.

La Chronique d'avril 1869 contient la description d'un procédé employé par M. Leferme, pour étancher des sources. Or, en 1846, j'ai eu recours au même procédé pour l'étanchement des sources du radier d'une écluse de la Mayenne, située à quelques kilomètres en amont de Laval; et, comme les moyens que j'ai employés pour le mettre en œuvre sont assez différents de ceux de M. Leferme, vous ne touverez peut-être pas inutile de les faire connaître.

Le fond de ma fouille était formé de calcaire marbre très-fissuré, et ressemblait assez à un pavé de molaires gigantesques; il était plein de trous, au fond de chacun desquels il y avait une petite source. Je faisais préparer un entonnoir, comme M. Leferme, puis approvisionner au bord la quantité de béton qu'il pouvait contenir, un peu de pierre cassée, et quelques poignées de chaux en poudre. Mon tube était en ferblanc, et de 0.05 à 0.06 de diamètre; il était formé de deux parties; l'une de 0.15 environ de longueur, légèrement conique, et portant deux oreilles de ferblanc; l'autre de 0.50 à 0.80 de longueur entièrement cylindrique, engagée à frot-

tement dans le haut du tube conique. Enfin, le chef de chantier était muni d'un poinçon.

Quand tout était près, on desséchait autant que possible le rocher du fond avec une éponge, puis on plaçait le tube verticalement. On en entourait le pied de pierre cassée, et, sur la pierre cassée, on jetait la chaux, puis le béton. Enfin, dès que le remplissage était fait, on perçait le tube à l'aide du poinçon, un peu au-dessus du remplissage. Toute l'opération était conduite vivement, et l'on ne tardait pas à voir un petit filet d'eau s'échapper par le trou de poinçon.

Deux ou trois jours après, suivant la rapidité de la prise du mortier, on introduisait daus le tube un bouchon de liége, qu'un coup de barre fixait à demeure dans le tube conique. On attendait encore quelques jours, puis on retirait, en le faisant tourner, le tube cylindrique; on vidait le trou, et on le remplissait de mortier ordinaire tassé.

L'opération a toujours réussi; on l'appelait sur le chantier la *mise en bouteille des sources*. Mais je n'ai pas osé la faire pour toutes mes sources; j'en ai conservé quelques-unes, auxquelles je ménageais une sortie, par un trou de mine percé dans une pierre de parement du radier.

N° 11

RELATION D'UN VOYAGE AÉRONAUTIQUE (*).

Par M. CÉZANNE, ingénieur des ponts et chaussées.

Dès les premiers temps de l'investissement de Paris, j'avais proposé au Gouverneur, le général Trochu, de porter en province à la Délégation du gouvernement, le détail de quelques dispositions militaires qui paraissaient devoir servir à la défense nationale. Cette proposition venait d'être acceptée, dans les derniers jours du mois d'octobre 1870, lorsque M. Collignon, inspecteur général des ponts et chaussées, et délégué du Ministre des travaux publics, proposa au gouverneur de me charger en outre d'une mission relative au ravitaillement de Paris (**).

Mon départ ayant été fixé au 31 octobre, j'en fis rapidement les préparatifs.

Il n'y avait plus à Paris d'aéronaute expérimenté; MM. Nadar et Godard, chargés de la confection des ballons, ne pouvaient partir; ils avaient d'ailleurs expédié déjà tous leurs élèves.

Ils avaient à la vérité formé une école d'aérostiers recrutés parmi les matelots de la garnison; mais il me suffit de

(*) Cette *Relation* n'a aucune prétention scientifique; ce sont des *impressions de voyage*, dont le seul intérêt sera de conserver dans les *Annales* un souvenir des événements douloureux auxquels tant d'ingénieurs des ponts et chaussées ont pris part à divers titres.

(**) Le compte rendu spécial de cette mission a été adressé au ministre des travaux publics, par rapport en date du 26 août 1871.

quelques mots de conversation avec ces braves marins, pour reconnaître que s'ils s'entendaient à nouer une corde, les mystères du baromètre leur étaient absolument inconnus.

Je réclamai donc formellement le commandement de l'aérostat, et je fis choix pour m'accompagner d'un matelot breton nommé Legloarnec, vigoureux et doux, qui ne sachant ni lire ni écrire n'aurait aucune prétention à redresser mon inexpérience et se soumettrait à une obéissance passive.

Le 31 octobre, à huit heures du matin, tout se trouvait prêt à la gare d'Orléans pour mon départ. Le temps était peu favorable ; le vent soufflait de l'ouest avec force, c'est-à-dire qu'il portait à l'est, vers les pays occupés par l'ennemi ; le ciel était couvert de nuages épais, qui devaient nous dérober la vue de terre ; *le Fulton*, maîtrisé avec peine par la nombreuse équipe de M. Godard, s'agitait sous la raffale. Le départ fut décidé cependant, et j'allais monter dans la nacelle quand un aide de camp du général Trochu apporta un contre-ordre. Le général avait appris la nouvelle de la capitulation de Metz, on négociait un armistice et les instructions dont il m'avait chargé devaient être modifiées.

J'assistai ainsi à Paris aux tristes événements du 31 octobre, et je reçus dans la nuit les dernières instructions du gouvernement qui venait d'être délivré des mains de l'émeute.

Le 1er novembre, le départ fut cette fois empêché par le mauvais temps : le vent soufflait en tempête, et malgré la gravité des événements politiques, M. Godard se refusa à prendre la responsabilité d'expédier l'aérostat.

Dans la nuit du 1er au 2, le baromètre monta subitement, le vent sauta au nord et le jour s'annonca très-favorable.

A 8 heures 45 minutes du matin tout se trouva prêt ; la force du vent permettait à peine de retenir le ballon, il fallut brusquer le départ ; à peine entré dans la nacelle, j'entendis le sacramentel : *lâchez tout*.

Aussitôt, sans éprouver moi-même aucune secousse ni aucune sensation de nature à causer un trouble quelconque, je vis ma mère, mes amis, et le groupe des curieux tomber dans un abîme sans fond, et se réduire à des proportions microscopiques ; je leur tendais les bras, Legloarnec agitait le drapeau et j'étais tenté de leur dire : *malheureux vous êtes perdus !* mais déjà je ne les voyais plus.

Sous mes pieds passèrent les fortifications de Paris, puis le fort de Bicêtre, dont le pentagône se dessinait en traits blancs et menus comme sur une carte.

C'était l'heure de la garde montante : d'innombrables bayonnettes scintillaient sur les remparts ; de l'immense ville entrevue par places à travers les nuages, montait jusqu'à nous un bruit confus de voitures et de voix humaines, dominé par le clairon et le tambour. La Seine et la Marne cachaient leurs replis brillants jusque dans la brume de l'horizon et le Mont-Valérien, lançant de petites bouffées de fumée blanche, ébranlait l'air de ses détonations lointaines. Après un premier moment d'admiration recueillie, je compris que c'était nous qui marchions, et que nous allions passer au-dessus des Prussiens.

Je consultai vivement le baromètre, il indiquait l'altitude de 600 mètres : je fis jeter quelques poignées de lest et le ballon s'éleva à 1 200 mètres.

A cette hauteur, je me considérais comme hors de portée. La fusillade se fit bientôt entendre.

Nous passions au-dessus d'un camp fortifié : je voyais les canons dissimulés derrière des haies factices, les tentes en bon ordre, la cavalerie faisant le manége, les fantassins par groupes entremêlaient leurs coups de feu d'injures allemandes qui m'arrivaient très-distinctement.

Je fus frappé de voir nos paysans labourer en paix au milieu même des lignes ennemies, et comparant la faible

moindre variation de la pression atmosphérique, mais non sa valeur absolue ;

3° Une boussole de poche ;

4° Un thermomètre ;

5° Une montre ;

6° Une lorgnette ;

7° Une carte générale de France, avec indication des rivières et des chemins de fer (Édition du ministère des travaux publics ; cette carte m'a été très-utile et je ne crois pas qu'il en existe une plus commode pour ce voyage) ;

8° Une réduction de la carte géologique (*).

Le ballon flotte dans l'air dans un état d'équilibre instable. Il effectue constamment des mouvements divers. Il monte ou descend dans le sens vertical, il se déplace horizontalement ; enfin, il tourne sur son axe. Les balancements que l'on observe quelquefois au départ du ballon ne tardent pas à s'assoupir, et se reproduisent peu pendant la marche. Le Fulton n'a pas été sujet à ces balancements.

Voici quelques observations relatives aux trois sortes de mouvements que j'ai éprouvés.

Mouvement vertical. — Lorsqu'on observe attentivement un baromètre sensible on voit que l'aérostat ne reste jamais en repos dans le même plan horizontal. En réalité, si l'on fait abstraction de la légère déperdition de gaz qui a lieu par la soupape, par les coutures, et par la manche inférieure de l'enveloppe laissée ouverte à dessein, déperdition qui a pour conséquence une tendance constante à descendre, le ballon est un véritable ther-

---

(*) Je m'étais proposé de rechercher s'il existe quelque relation entre l'apparence générale du paysage et la nature géologique du sol ; mais, bien que j'aie plané successivement au-dessus de régions tertiaires, crétacées, de transition et primitives, j'ai constaté que, le sentiment du relief étant perdu pour l'aéronaute, la surface terrestre lui paraît recouverte d'un uniforme manteau de terre végétale dont la couleur fauve n'est diversifiée que par les cultures.

momètre qui s'élève ou s'abaisse avec la température. Mais sa température résulte d'influences très-diverses, qui produisent souvent des effets inattendus aussi difficiles à définir que l'état de l'atmosphère elle-même. C'est pourquoi, les observations que j'ai pu faire ne s'appliqueraient nullement à un voyage effectué dans des circonstances différentes, par exemple, par une atmosphère brumeuse, impénétrable aux rayons solaires. Je voyageais au contraire au-dessus des nuages, par un clair soleil et un vent froid du nord-est. Dans ces conditions, si le ballon prenait un léger mouvement de descente, soit par la fuite du gaz, soit parce qu'il était saisi par une bouffée d'air plus froid, la vitesse de chute s'accélérait aussitôt pour diverses causes :

1° Bien que les couches inférieures de l'atmosphère fussent probablement un peu moins froides que les supérieures, l'ardeur des rayons solaires, absorbés par l'air lui-même, diminuait rapidement, et par suite le ballon se contractait ;

2° Cette contraction, résultat d'un abaissement de température, augmentait la chute du ballon, qui se trouvant soumis à une plus forte pression atmosphérique, se contractait de nouveau, et précipitait d'autant sa chûte ;

3° Lorsqu'en descendant ainsi, nous parvenions dans la région des nuages, il arrivait quelquefois que le ballon traversait le nuage lui-même, ou que passant à côté de ce nuage il se trouvait dans son ombre. Dans ces deux cas, le ballon subitement privé des rayons solaires, se contractait d'autant plus et précipitait encore sa chute. Quelquefois même l'hémisphère de l'aérostat, qui dans les régions élevées s'était trouvé opposé au soleil, c'est-à-dire dans l'ombre, et qui par conséquent apportait une température sensiblement plus froide que celle du nuage, se couvrait d'une légère rosée, et ce nouveau poids était une nouvelle cause de chute ;

4° Enfin, à ces causes se joignait l'accélération naturelle

de la gravité agissant sur une masse de 1 200 kilogrammes suspendue dans un milieu aussi peu résistant que l'air.

Il faut donc se tenir constamment prêt à jeter une poignée du sable qui forme le lest si l'on veut se maintenir à une hauteur constante, ce qui est la meilleure condition pour pouvoir prolonger son voyage. Cependant, il m'arriva que m'étant oublié à contempler le vaste horizon, je m'aperçus tout à coup, à une sensation particulière dans les oreilles, que nous descendions rapidement (*).

Quelques minutes auparavant, nous étions à l'altitude de 1 800 mètres, et maintenant le baromètre indiquait 1 000 mètres; nous avions traversé les nuages; l'aiguille montait rapidement et tous les accidents de la terre grossissaient d'une manière effrayante. Je relevai vivement les yeux vers le ballon dans la pensée qu'il s'était crevé: la manche pendante qui tout à l'heure était raide et gonflée comme l'aérostat lui-même se repliait maintenant dans l'hémisphère inférieur qui lui-même paraissait vide et mou.

Ce qui ajoutait à ma préoccupation c'est que je n'étais nullement assuré d'avoir dépassé les limites du territoire envahi par l'ennemi et que je ne me souciais pas d'effectuer ici une descente prématurée.

Legloarnec et moi jetâmes donc le lest à pleines mains;

(*) Les ingénieurs qui sont descendus dans des cloches à plongeur, ou qui ont travaillé dans des caissons à air comprimé, ont éprouvé cette sensation particulière qui se produit sur le tympan, lorsque la pression augmente ou diminue rapidement. Cette sensation et, en outre, un bourdonnement presque continu qui donne l'illusion d'un tambour lointain sont les seuls effets physiologiques que j'aie ressentis en ballon.

Je n'ai éprouvé aucun sentiment de vertige; et je crois que le vertige qu'on éprouve sur le haut d'un monument ou d'un rocher ne se produit plus lorsque la terre est à une distance très-grande et que l'on n'a plus sous les pieds que le vide absolu. Le vertige paraît associé à l'idée de chûte, qui ne se présente pas dans la nacelle de l'aérostat à cause du calme et de l'immobilité apparents qu'on y éprouve.

les yeux fixés tantôt sur le baromètre, tantôt sur la terre qui arrivait sur nous et dont nous n'étions plus qu'à trois ou quatre cents mètres, je répétai : *jette*, *jette*, jusqu'au moment où je vis enfin l'aiguille du baromètre rétrograder.

En agissant ainsi j'avais commis une faute qu'un peu plus de sang-froid m'aurait permis d'éviter.

Il était évident qu'en allégeant le ballon jusqu'au moment où il commença à remonter je l'avais trop allégé. En effet, ce n'est pas seulement lorsqu'il commence à remonter que le ballon reprend sa tendance ascensionnelle. Cette tendance existe dès que le ballon commence à ralentir sa chute, car il descend encore quelques temps pour détruire sa force vive. Il aurait donc fallu ménager très-soigneusement le lest à partir du moment où la vitesse de chute était notablement ralentie sous peine de donner au ballon une trop grande force ascensionnelle ; j'en eus bientôt la démonstration.

Le ballon, arrêté à 200 mètres de terre, rebondit et, les mêmes causes agissant en sens inverse, il prit un mouvement d'ascension rapide, dépassa l'attitude de 2500 mètres limite de mon baromètre, et m'enleva dans une région froide et silencieuse d'où la surface terrestre n'apparaissait plus que comme une peinture à demi effacée, qu'encadrait un horizon vaporeux.

Les nuages, réduits à de légers flocons, semblaient se traîner sur la terre elle-même. Je ne pouvais juger de la distance qu'il y avait entre eux et la terre que par cette circonstance que l'ombre d'un nuage ne lui était pas attachée mais qu'elle se tenait à une notable distance de lui. Du reste, à mesure que la journée s'avançait, ces nuages se dissipèrent et bientôt, berger sans troupeau, je restai comme perdu dans le silence des airs.

L'aérostat, démesurément gonflé commença alors à m'inspirer quelques craintes ; cependant la toile vernissée faisait bonne contenance, et de peur d'être de nouveau en-

traîné dans une chute trop rapide, je me maintenais à l'altitude d'environ 3 000 mètres d'où je pouvais promener mes regards sur un horizon de 200 kilomètres.

M. Godard m'avait d'ailleurs recommandé de n'ouvrir la soupape qu'à la dernière extrémité. Cette soupape est calfatée avec soin pour éviter la déperdition de gaz; lorsqu'elle a été une fois ouverte elle ne se referme plus exactement et l'aérostat comme un oiseau blessé ne peut plus dès lors compter sur un long voyage (*).

Mouvement giratoire autour de l'axe du ballon. — D'habitude, l'aéronaute éprouve un sentiment d'immobilité et de calme extraordinaire; il ne sent point de vent puisqu'il marche avec le vent lui-même ; le soleil lui paraît immobile et, s'il ne fixe pas ses regards sur la terre, le monde se réduit pour lui à l'aérostat qui s'enfle sur sa tête et à la nacelle, étroite demeure, encombrée de paquets, de sacs, de lest, et à tout prendre peu confortable.

Dans cette étrange situation on est peu porté à parler; l'âme recueillie se plaît au silence et facilement elle s'abandonne à la méditation. Mais par moments, l'attention est réveillée par un singulier phénomène. — Le soleil et l'horizon tournent autour du ballon ; c'est-à-dire que le ballon exécute autour de son axe vertical deux ou trois révolutions après lesquelles il reprend son apparente immobilité.

Quelles sont les causes de ces girations? résultent-elles du déplacement de l'aéronaute, dans la nacelle? d'un défaut de symétrie occasionné dans l'enveloppe par le contact

(*) On voit par ce qui précède que le mieux pour un long voyage est de se tenir à une hauteur moyenne de 600 à 1 000 mètres et d'arrêter à l'origine tout mouvement de descente. Une poignée de lest suffit pour cet objet.

Il est bon de noter que les ballons fabriqués à la hâte pendant le siége n'offraient pas toutes les garanties désirables de bonne exécution.

prolongé d'un hémisphère avec les rayons solaires tandis que l'autre hémisphère reste dans l'ombre? ou plutôt, le ballon, entraîné par le courant aérien, a-t-il rencontré quelque cyclone minuscule, analogue à ces tourbillons qui se forment dans l'eau courante?—Cette dernière explication m'a paru la plus vraisemblable; elle m'a été suggérée par cette circonstance que les girations du ballon étaient d'ordinaire accompagnées d'une sensation de fraîcheur et d'une agitation très-vive du mouchoir dont j'ombrageais ma tête ainsi que des banderolles de papier suspendues au ballon et qui d'ordinaire pendaient inertes malgré la marche rapide de l'aérostat.

Mouvement horizontal. Direction. — Ma grande préoccupation de capitaine responsable de la conduite du bord se traduisait par ces questions mentales: où sommes-nous? vers quel point de l'horizon marchons-nous? — Malgré la transparence de l'air, et bien que d'habitude je visse distinctement la terre se dérouler sous mes pieds, il ne m'était pas très-facile de déterminer le point de l'horizon vers lequel je tendais. Tout est symétrique dans l'aérostat, dont le sillage est nul. Quand je demandais à Legloarnec son avis sur ce point délicat, le naïf Breton se bornait à me rappeler la promesse que je lui avais faite au départ: nous allons en Bretagne, répondait-il. — Nous avions, à Paris, avant le départ, reconnu que le vent portait au sud; direction qui résultait et des observations de la girouette de l'observatoire de Passy (annexe de l'école des ponts et chaussées) et du mouvement d'un ballon d'essai, lancé à la gare même, du centre de la rose des vents qui y était tracée.

M. Hervé Mangon, qui présidait à l'expédition des ballons et M. Godard pensaient que j'irais atterrir dans le centre de la France, et M. Godard me recommandait de prendre terre sur le versant nord des montagnes plutôt que sur le versant sud, parce qu'il avait maintes fois éprouvé que le vent

devient plus fort et l'atterrissement plus difficile, après la traversée d'une montagne (*).

J'étais donc parti de Paris, avec l'idée que j'allais au sud, et en effet, je ne perdis pas de vue le chemin de fer d'Orléans jusqu'à moitié chemin d'Étampes, je reconnus encore distinctement la tour de Montlhéry, mais, pendant un de ces mouvements verticaux dont j'ai parlé, je séjournai dans un nuage assez longtemps pour me perdre, et quand je revis la terre je crus remarquer à la position du soleil que je n'allais plus au sud. Après quelque tâtonnements, je m'avisai d'un expédient fort simple : il suffit de remarquer un point singulier au dessus duquel on passe, un clocher, un arbre, etc.; lorsqu'on en est éloigné de quelques kilomètres, il suffit de regarder ce même objet pour reconnaître exactement le sillage de l'aérostat. On pourrait même, avec une boussole à lunette, et grâce à l'immobilité absolue de la nacelle, déterminer avec une précision rigoureuse la direction qu'on a suivie. C'est donc en regardant en arrière et non en avant que l'on peut reconnaître le plus facilement sa route. Je constatai ainsi que je n'allai plus au sud mais au sud-ouest.

Si l'on était privé de la vue de terre, la détermination de la direction suivie serait un problème bien autrement difficile. Cependant, si l'on voyageait dans l'air transparent à une notable distance au-dessus des nuages il serait peut-être encore possible de se rendre un compte approximatif de sa direction.

En effet, si l'on jette par dessus la nacelle une poignée de petits morceaux de papier, on les voit tomber avec un retard notable par rapport au ballon. Ces petits corps légers oscillent dans leur chute et par ce mouvement, ils

(*) On trouvera sur ce détail météorologique plusieurs observations concordantes dans les *Études sur les torrents des Hautes-Alpes* de Surell, 2e édition, 2e volume, page 365. (Paris, Dunod, 1870-1872.)

offrent au courant d'air une prise moins constante que l'aérostat lui-même, ils se retardent donc et tracent dans l'air une ligne de sillage assez nette. Les banderolles suspendues au ballon ont également une légère tendance à se retarder et à marquer ainsi le sens de la marche. Mais ces moyens sont bien précaires: dans certains cas ils conduiraient à des conclusions erronnées, et d'ailleurs cette faible ressource fait défaut lorsqu'on voyage dans la brume.

On ne se fait pas une idée du temps qu'un corps abandonné dans l'atmosphère met à parvenir jusqu'à terre. J'emportais plusieurs exemplaires du journal officiel racontant les événements du 31 octobre ; lorsque j'apercevais de loin un village, je prenais quelques feuilles, et après les avoir repliées plusieurs fois et liées ensemble en paquet très-serré je les jetais bien avant d'atteindre le village. Mais, il est bien rare que j'aie pu les voir prendre terre; presque toujours, elles étaient pour moi hors de vue avant qu'elles fussent arrivées, et les paysans qui couraient à leur suite perdaient patience avant de les atteindre.

Trajectoire. — La direction du ballon étant connue, il suffit d'un point de repère certain pour pouvoir tracer sa trajectoire sur la carte. Après la tour de Montlhéry, la cathédrale de Chartres fut le premier repère incontestable que j'aperçus ; elle passa sur ma droite à quelques dix kilomètres.

Les rivières et les chemins de fer sont d'excellents guides; les routes sont trop nombreuses pour être distinguées avec certitude, non plus que les villages.

Les chemins de fer sont reconnaissables à leur teinte grise et surtout à la régularité du tracé qui se décompose comme sur un plan en longs alignements droits raccordés par des arcs de cercle. Avec la lorgnette d'ailleurs on distingue nettement les rails.

La disposition des gares et des bifurcations offre encore des indications très-précieuses. C'est ainsi que voyant sous

mes pieds une gare terminus près d'une rivière, je reconnus la ville de La Flèche que je n'avais jamais vue, mais qui, dans les régions où je me trouvais, présente seule ces dispositions. C'est à La Flèche même que je traversais le Loir dont l'identité ne pouvait être douteuse. Depuis longtemps déjà la disposition générale des cours d'eau ne permettait aucune hésitation. Je suivais d'assez près la rive droite du Loir bordée de côteaux à versants rapides; le relief de ces côteaux, insensible à l'œil, m'était cependant révélé par une bordure de bois dont le feuillage jauni par l'automne contrastait avec la pâle verdure des prairies de la rive opposée.

Au loin, sur ma droite, j'apercevais l'Huisne et le Mans: sur la gauche, vers les limites de l'horizon, c'est-à-dire à la hauteur même de mon œil, la Loire du côté de Tours dessinait dans la brume son cours qui étincelait au soleil de midi (*).

Ces trois rivières, convergeant vers un même point de l'horizon, reproduisaient si exactement la disposition de la carte que je naviguais avec la confiance la plus entière.

Je traversai la Loire exactement au-dessus des Ponts-de-Cé, laissant un peu sur ma droite Angers dont j'apercevais tous les détails comme sur un plan microscopique. Ainsi, après avoir marché quelque temps vers le Sud, j'avais ensuite suivi une ligne à peu près droite inclinée au S.-O. et passant par Saint-Calais, La Flèche — enfin j'avais de nouveau incliné au Sud.

Vitesse. — La détermination de la vitesse de l'aérostat en chaque point de sa marche est impossible, du moins

---

(*) Pour l'aéronaute, la terre, loin de paraître convexe, prend une forme concave; en effet, s'il regarde sous ses pieds, il mesure de l'œil la profondeur de l'abîme, et s'il regarde à l'horizon, il voit tout autour de lui la terre se relever à la hauteur de son œil : l'apparence générale est donc celle d'une écuelle très-plate, et dont les bords s'arrondissent dans la brume.

avec les moyens dont on dispose actuellement; mais la vitesse moyenne se déduit très-facilement en comparant avec les heures les distances parcourues d'après la carte.

Voici quelques extraits de mon livre de bord :

Parti de Paris à.	8 h.	45
Traversé les lignes prussiennes à.	9	»
Reconnu la tour de Montlhéry à.	9	55
— la cathédrale de Chartres à.	10	20
— le Mans à droite.	midi	
Traversé le Loir à Laflèche.	12	30
— la Loire au Pont-de-Cé.	1	17

En comptant, à vol d'oiseau, 290 kilomètres de Paris aux Ponts-de-Cé, la vitesse moyenne est de 64 kilomètres.

D'après l'anémomètre de l'observatoire de Passy, la vitesse du vent, au niveau de Paris, atteignait à peine 20 kilomètres à l'heure.

J'ai dit que l'aéronaute jouit d'ordinaire du calme le plus parfait et qu'il n'a aucun sentiment de sa vitesse. Le mouvement de la terre qui se déroule au-dessous de lui est si doux, si égal, si dépourvu de bruit, de saccade ou de trépidation que le voyage en bateau, voiture ou wagon ne donne aucune idée de l'agrément du ballon.

Ombre. — Il y a cependant un joli phénomène qui donne le vif sentiment de la grande vitesse du ballon, c'est le mouvement de son ombre.

Lorsque le ballon est à plus de 1,000 mètres au-dessus de la terre, son ombre est nulle, sans doute la diffraction l'efface; mais quand on approche de terre, on voit distinctement l'ombre du ballon courir en sautillant à travers champs et, par une singulière illusion, il semble que ce petit point noir se déplace beaucoup plus vite sur la terre que la terre elle-même ne paraît se déplacer sous le ballon. — Cette illusion tient à ce que l'œil voit distinctement l'ombre du ballon franchir un à un tous les détails du tableau

et qu'il mesure en quelque sorte chacun de ses pas précipités.

La dimension apparente de l'ombre et son écartement horizontal dépendent naturellement de l'altitude du ballon et c'est surtout en voyant le rapide grossissement de notre ombre que je mesurais la rapidité de cette chute dont j'ai rapporté ci-dessus les circonstances.

Atterrissage. — En pleine mer, quelle que soit la violence des vents, le marin se fie à son navire et jouit d'une sécurité relative; mais lorsqu'il approche des côtes, lorsque, suivant l'expression consacrée, il doit *attaquer la terre*, il ne peut plus se promettre avec certitude de maîtriser la tempête et d'éviter l'écueil. L'aéronaute éprouve des contrastes analogues et c'est lui surtout qui doit craindre de faire naufrage au port.

Après avoir traversé la Loire, j'étais à peu près certain d'avoir dépassé les têtes de colonnes de l'ennemi; je n'avais aucune raison d'aller plus loin; cependant le voyage était trop agréable pour que je fusse pressé de courir les chances de l'atterrissage. Notre vitesse de train express ne me paraissait pas devoir faciliter l'opération. J'espérais d'ailleurs qu'en gagnant du temps le vent mollirait comme cela arrive d'habitude dans l'après-midi. Je restai donc immobile quelque temps encore consultant tantôt la carte et tantôt l'horizon où je croyais déjà reconnaître le sombre et sinistre reflet de l'Océan. Je voyais par la carte géologique que j'arrivais sur la région des terrains primitifs où d'ordinaire les cours d'eau sont encaissés au fond de ravins étroits, peu propices au traînage. J'apercevais le bocage Vendéen tout couvert d'arbres et de haies au milieu desquels il faut renoncer à trouver un espace découvert pour y arrêter le ballon. Enfin la carte des chemins de fer me conseillait aussi de ne pas dépasser la ligne d'Angers à Niort, la dernière avant la mer. Il fallut donc se préparer à descendre.

Nous mîmes un peu d'ordre dans la nacelle pour éviter

les chocs des objets mobiles, chacun de nous plaça devant lui deux sacs de lest ouverts et à portée de la main, puis, ayant invité le marin à tenir son couteau dans ses dents ouvert et prêt au service, je saisis la corde de la soupape et la tirai deux ou trois fois comme lorsqu'on sonne à une porte, sans même laisser la soupape ouverte.

Il n'en fallut pas davantage pour déterminer un premier mouvement de descente qui s'accélérant aussitôt par les causes signalées ci-dessus se transforma en chute précipitée. L'aiguille du baromètre tournait comme si on l'avait poussée avec le doigt. Les détails de la terre grossissaient rapidement, et malgré que nous jetassions le lest à pleines poignées nous frôlions déjà la cime des arbres, lorsque sur mon ordre Legloarnec trancha le filin qui retenait le *guide-rope*.

Le *guide-rope* est un des perfectionnements les plus simples et les plus efficaces qui aient été apportés à l'aérostat depuis son invention. C'est une grosse corde rugueuse de 3 à 400 mètres de longueur dont une extrémité est soigneusement attachée au cercle qui réunit au-dessous de l'aérostat les cordes du filet et porte la nacelle. La corde elle-même, lovée en écheveau, est retenue par un filin sur le paroi extérieure de la nacelle. M. Godard en raison de la force du vent avait fait faire des nœuds au guide-rope de distance en distance, pour augmenter son coefficient de frottement. Au moment où Legloarnec coupa le filin qui le retenait, le lourd écheveau formé par le guide-rope, cessant de peser sur la nacelle, tomba dans le vide tandis que le ballon subitement allégé se relevait très-vivement. Mais le guide-rope en se déroulant reprenait peu à peu son poids; la descente recommença et presqu'aussitôt nous touchâmes terre pour la première fois.

Le choc fut beaucoup moins rude que je ne l'avais attendu. Le ballon, soulagé de tout son chargement au moment où la nacelle reposa sur la terre, rebondit vigoureu-

sement à une hauteur de 100 ou 200 mètres. Au moment où nous allions reprendre terre pour la seconde fois, je fis lâcher l'ancre pour adoucir le choc, et à partir de ce moment, n'ayant plus de ménagements à garder, je saisis la corde de la soupape, et je la tins grande ouverte pour vider le ballon le plus tôt possible.

Le traînage commença alors ; le ballon emporté par le vent volait devant nous, traînant la nacelle qui tantôt frottait à terre, tantôt s'enlevait par-dessus les arbres et les maisons ; l'ancre, s'accrochant à chaque obstacle, nous imprimait des chocs qui chaque fois me donnaient l'idée que le cable s'était rompu ; mais en me retournant je voyais l'ancre bondir sur terre derrière nous, tandis que le guide-rope, fortement tendu dans toute sa longeur, traçait dans les champs un sillon rectiligne.

Le guide-rope rend d'immenses services à l'aéronaute : outre qu'il fait l'office d'un frein énergique qui ralentit rapidement et sans chocs la vitesse du ballon, il exerce sur la nacelle une traction qui la maintient dans une orientation invariable et l'empêche de tourner, en sorte que les voyageurs suspendus par les bras au cercle du côté opposé à celui où est fixé le guide-rope, se trouvent toujours tournés vers l'avant et dans une position qui sans être confortable laisse cependant une certaine liberté d'esprit et ne cause pas le vertige. Ce vertige se produirait infailliblement si la nacelle non contente de bondir se mettait à tourner. Bref, j'éprouvai pendant le traînage le mouvement d'une gigantesque balançoire, dont les chocs n'ont rien que de très-supportable, et je ne cessai d'observer devant moi, baissant la tête pour éviter les branches d'arbres que nous brisions au passage. De même qu'en descendant d'un navire on croit sentir la terre se balancer sous les pieds, de même j'ai conservé pendant quelques jours ce vague sentiment de vol bondissant que j'avais éprouvé lors de l'atterrissage du ballon.

J'avais par mégarde négligé l'une des recommandations les mieux justifiées de M. Godard. Avant de commencer la descente, il faut attacher, au cercle qui porte la nacelle, la manche pendante, c'est-à-dire l'appendice inférieur du ballon. Faute de cette précaution, l'enveloppe au lieu de rester tendue dans sa longueur, rentrait en elle-même, l'hémisphère inférieur s'enfonçait dans le supérieur sous la pression du vent, et le ballon formait une immense voile concave d'une force irrésistible.

Nous courûmes ainsi plusieurs kilomètres, avec des alternatives de vol et de traînage, mais enfin il arriva que, dans un des bonds de la nacelle, nous primes à rebrousse-poil un arbre, un pommier, que nous eûmes quelque peine à franchir, après avoir brisé successivement plusieurs branches supérieures. Nous dépassâmes cependant le pommier et la nacelle redescendait vers la terre lorsque l'ancre s'accrochant solidement au tronc de l'arbre il en résulta un choc vigoureux.

Le ballon se fendit aussitôt suivant un méridien et, subitement dégonflé, tomba piteusement ainsi que nous. Nous étions renversés au milieu des paquets et pris dans les cordages. Mais à part quelques égratignures, nous étions sains et saufs, et nous nous relevâmes gaîment.

Nous fûmes bientôt entourés.

Pendant le traînage, les paysans courant après nous essayaient de saisir le guide-rope qui traînait à terre ; mais notre course était trop rapide ; l'un d'eux cependant ayant pu atteindre au passage cette corde rugueuse eut les mains grièvement écorchées. Dès que nous fûmes arrêtés, on accourut de toutes parts. Les gendarmes, mis en éveil par des télégrammes arrivés du Mans et d'Angers (d'où l'on nous avait signalés comme ballon non monté, la nacelle restant invisible à cause de notre élévation), arrivaient l'un après l'autre sur des chevaux blancs d'écume.

Le ballon, les dépêches, les agrès et paquets étaient déjà

chargés sur deux charrettes, derrière lesquelles nous marchions à pied, que les curieux arrivaient encore tout essoufflés d'une longue course. Aussi, lorsque nous gagnâmes la station, étions-nous accompagnés d'une escorte imposante.

Nous avions pris terre non loin du chemin de fer, à égale distance entre les stations de Chemillé et de la Jumellière. Il était deux heures environ. Il ne s'était pas écoulé plus de cinq minutes depuis le moment où j'avais ouvert la soupape pour la première fois, et le moment de l'échouage.

Je laisse à penser combien de questions furent échangées entre les Provinciaux demandant des nouvelles de Paris et le Parisien qui ne savait rien de la province ni de l'Europe. Je note seulement que le maire de la commune me demanda mes papiers sous prétexte que *depuis la guerre il passait dans le pays des gens de toute sorte.*

Sa demande, je dois le dire, obtint un vif succès d'hilarité auprès de ses administrés; je lui montrai cependant mes papiers qui, par bonheur, étaient en règle.

Un brigadier de gendarmerie m'assura que, pendant un des sauts que nous avions faits par dessus un moulin, un paysan nous avait tiré un coup de fusil au vol : nous n'avions rien entendu.

Parti de Paris à 8 h.45 du matin, j'arrivai à Tours, en train spécial, à minuit.

Pigeons voyageurs. — J'apportais de Paris quelques pigeons voyageurs; ils ne donnèrent aucun signe de préoccupation pendant le voyage, et, lorsque nous étions au plus haut de notre ascension, leurs doux roucoulements troublaient seuls le silence des airs, tandis que Legloarnec et moi, muets d'admiration, promenions nos regards sur le vaste horizon.

Lorsque nous traversâmes le pommier, la cage des pigeons fut presque écrasée; je crus ces gentils oiseaux perdus, ils furent cependant remis sains et saufs au gouvernement.

Conclusion. — Au point de vue pratique, mes impressions peuvent se résumer ainsi : l'aérostat dépend à un tel degré des moindres circonstances atmosphériques, que prétendre modifier sa direction, ou seulement son orientation dans l'air, paraît d'abord un problème *insoluble.*

La forme ronde et symétrique, actuellement adoptée, paraît en effet la plus convenable pour la stabilité de l'aérostat.

L'installation de la nacelle, du guide-rope, de l'ancre et autres agrès, est probablement susceptible de nombreuses améliorations de détail en vue d'augmenter le confortable de l'aéronaute et la facilité de la manœuvre (*).

Comme voyage d'agrément, une traversée aérienne pour laquelle on pourrait choisir son jour afin d'attendre un temps favorable, offre très-peu de dangers. La plupart des aéronautes sortis de Paris, pendant le siége, n'ont pas été si favorisés que moi par les circonstances atmosphériques, cependant les accidents ont été rares ; en voici la statistique exacte, telle qu'elle m'a été fournie par M. le directeur général des postes.

L'administration des postes a expédié 54 ballons montés portant des dépêches ; il est, en outre, parti 9 ballons appartenant à diverses administrations publiques ou à des particuliers, soit en totalité 63 ballons expédiés de Paris pendant le siége.

Sur ce total, 3 ballons se sont perdus, dont un a dû passer près du cap Lézard, dans les environs duquel les dépêches ont été retrouvées par des marins anglais ;

(*) Ce passage était écrit lorsque la belle expérience de M. Dupuy de Lôme est venu me donner un éclatant démenti. Je n'ai cependant pas voulu modifier ma rédaction, à laquelle l'erreur même dans laquelle je suis tombé conserve tout son caractère d'*Impressions de voyage.*

Voyez sur l'aérostat de M. Dupuy de Lôme et sur le voyage mémorable effectué par lui le 2 février 1872, les *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. LXXIV, séance du 5 février 1872.

2 ballons, après avoir traversé la mer, ont atteri l'un à Belle-Isle, l'autre en Norwège.

3 ont été pris par l'ennemi avec les passagers et les dépêches (*); d'autres ballons, en petit nombre, sont restés entre les mains de l'ennemi, mais les passagers se sont échappés en emportant leurs dépêches.

Dans les nacelles de ces 63 ballons, ont pris place 87 passagers et 69 aéronautes ou aides aéronautes, soit en totalité 156 personnes.

Il faut donc compter seulement 3 ballons perdus sur 63; cette proportion conduit à cette conclusion qu'en somme le ballon offre une grande sécurité, surtout si l'on peut se réserver le choix du jour et de l'heure de départ, et si la conduite de l'aérostat est confiée à un homme d'expérience. Il faut, en effet, remarquer que les ballons parisiens étaient construits à la hâte, dirigés souvent par des novices et que plusieurs sont partis la nuit pour tromper la surveillance de l'ennemi.

Ces départs nocturnes étaient d'autant plus dangereux que l'on accordait plus de confiance aux observations faites à Paris sur la vitesse du vent. Ainsi, des aéronautes partis après avoir calculé que le jour se lèverait avant qu'ils eussent dépassé la terre s'apercevaient, aux premières lueurs de l'aurore, qu'ils flottaient au-dessus de l'Océan, c'est-à-dire qu'ils étaient en perdition (**).

(*) L'un de ces ballons portait M. Godin de Lépinay, ingénieur en chef.

(**) C'est ainsi que M. Ducoux, directeur de la compagnie des Petites Voitures, parti à quatre heures du matin et voyageant dans la brume, s'est trouvé vers sept heures au-dessus de l'Océan, dans les parages des Sables-d'Olonne, ce qui suppose une vitesse de plus de 130 kilomètres à l'heure. Le thermomètre était tombé au-dessous de 30 degrés. M. Ducoux et le matelot qui l'accompagnait eurent un moment de désespoir, et déjà ils discutaient de sinistres projets lorsque le matelot rappela que le lever du soleil pouvait donner naissance à une brise de mer : les aéronautes se tinrent aussi bas que possible, rasant les flots dans le brouillard; et en

Il est juste de reconnaître qu'à chaque départ, les aéronautes de profession, tels que MM. Nadar et Godard affirmaient que la vitesse du vent dans les régions élevées était de beaucoup supérieure à celle qu'on pouvait déduire des observations faites à terre.

Les ballons ont déjà rendu de très-grands services à la science (*) ; il est évident qu'ils constituent un instrument précieux et en somme peu dangereux d'investigation dans l'atmosphère.

Quant à l'art militaire, après l'expérience faite à Paris, il n'est plus permis de contester les grands services que les ballons peuvent rendre aux forteresses investies, et certes ils en auraient rendus de bien plus considérables encore si la défense de Paris avait été préparée d'avance et non improvisée.

Il semble désormais indispensable que l'autorité militaire place dans chaque forteresse un spécimen de ballon avec des approvisionnements et des instructions pour permettre à la garnison d'en construire d'autres et d'en tirer un parti efficace.

---

effet, vers neuf heures, les aboiements d'un chien leur apprirent qu'ils étaient retournés au-dessus de la terre, où ils s'empressèrent d'échouer.

(*) Voyez notamment, parmi les ascensions récentes, les relations très-scientifiques et très-instructives du physicien anglais Glaisher. (*Les Voyages aériens*, par M. de Fonvielle.)

N° 12

NOTE

Sur la résistance des parois planes des chaudières à vapeur.

Par M. LAVOINNE, ingénieur des ponts et chaussées.

CHAPITRE PREMIER.

EXPOSÉ.

I. L'attention des constructeurs est appelée depuis longtemps sur la consolidation des parois planes des chaudières à vapeur.

Pour régler l'espacement et la section des entretoises et des tirants employés à cette consolidation, on a cherché à établir des formules analogues à celles qui existent pour les parois cylindriques, et déduites en général de la considération des solides prismatiques encastrés.

Dans une note faisant suite à son rapport à la commission centrale des machines à vapeur, en date du 1er octobre 1854, M. Callon, secrétaire de cette commission, a donné une formule établissant une relation entre l'épaisseur de la paroi, l'espacement des tirants, la charge par unité de surface, et l'effort de traction ou de compression rapporté à la même unité. Il assimile pour cela une portion de paroi plane comprise entre deux lignes parallèles à un solide prismatique d'une certaine portée encastré à ses deux extrémités et soumis à la même charge uniforme. Pour tenir compte de ce que la paroi est infléchie, non-seulement transversalement aux deux lignes de tirants, mais encore parallèlement à ces lignes, ce qui a pour effet

d'augmenter la flexion transversale et de diminuer la flexion dans le sens de la diagonale de chaque rectangle formé par les points d'attache des tirants, la portée de la pièce encastrée est prise égale à une moyenne entre l'espacement des lignes de tirants et la longueur de cette diagonale. L'évaluation de l'effort maximum se produisant au milieu de la pièce encastrée conduit ensuite à poser une formule approximative servant à calculer des tables qui donnent les épaisseurs en fonction de l'espacement des tirants et de la pression effective.

Comme cette formule repose sur la considération de l'effort maximum au milieu de la distance qui sépare les points d'appui, il y a lieu de se demander si, vers les points d'appui eux-mêmes, il ne se développe pas des efforts plus considérables, ainsi que cela se passe pour les pièces chargées uniformément et encastrées à leurs extrémités, quels peuvent être ces efforts, et dans quelle mesure il convient d'en tenir compte. Il règne en un mot une certaine obscurité sur diverses circonstances de la déformation qui auraient besoin d'être mieux connues pour mettre les constructeurs à même de se servir des formules avec une entière sécurité.

Nous avons pensé que l'étude de la question, reprise à l'aide des résultats que fournit l'application de la théorie générale de l'élasticité, pourrait offrir un certain intérêt, et qu'une analyse plus complète des conditions du problème serait susceptible de jeter quelque jour sur ce sujet qui n'est pas sans importance.

CHAPITRE II.

RECHERCHE DES FORMULES.

II. *Formule fondamentale.* — Ainsi que le rappelle M. de Saint-Venant dans son introduction au ***Résumé des leçons sur la résistance des corps solides*** de Navier, § 59,

ce savant a étudié la flexion des surfaces élastiques d'une certaine épaisseur, telles que les plaques métalliques, dans un mémoire présenté à l'Académie des sciences, le 14 août 1828. Navier a posé à la fois une équation différentielle s'appliquant à tous les points de la surface, et les équations aux limites à satisfaire sur son contour.

Si l'on rapporte une plaque métallique d'épaisseur uniforme et primitivement plane à trois axes coordonnés, deux, ceux des x et des y situés dans le plan moyen de la plaque, et le troisième, perpendiculaire aux deux premiers, et que l'on considère la déformation supposée très-petite résultant de la flexion de la plaque sous une charge normale Z rapportée à l'unité de surface en chaque point, déformation dans laquelle on admet que les plans, primitivement normaux à la surface moyenne, continuent à rester sensiblement normaux à cette surface, on obtient, d'après Navier, en désignant par x, y et z les coordonnées d'un point de la surface moyenne, et par ε le produit du coefficient d'élasticité de la matière par le moment d'inertie de la section de la plaque pour l'unité de longueur, l'équation différencielle suivante :

$$(1) \qquad Z = \varepsilon \left(\frac{d^4 z}{dx^4} + \frac{d^4 z}{dy^4} + 2 \frac{d^4 z}{dx^2 dy^2} \right).$$

Cette équation, vérifiée par Poisson et par divers géomètres, joue, dans la flexion des surfaces élastiques d'épaisseur uniforme, le même rôle que l'équation différencielle du deuxième ordre :

$$(2) \qquad X = \varepsilon \frac{d^2 z}{dx^2},$$

pour les prismes élastiques, X désignant le moment par rapport à une section dont l'abscisse est x de toutes les forces extérieures sollicitant le prisme à partir de cette section. (Voir la note 1.)

III. *Application de la formule fondamentale au cas d'une surface indéfinie.* — Proposons-nous d'appliquer la formule (1) à l'étude des déformations d'une plaque métallique que nous supposons indéfinie dans les deux sens, soumise à une charge uniforme, et supportée par des points d'appui isolés, également espacés dans deux directions rectangulaires. Les résultats que fournira l'étude de la plaque indéfinie seront des limites supérieures vers lesquelles tendent les flexions dans les plaques finies soumises à un serrage suffisamment énergique sur tout leur pourtour, le surcroit de roideur dû à l'inflexibilité du cadre ne pouvant que contribuer à diminuer les flexions (*), et l'influence du cadre diminuant à mesure que le nombre des points d'appui isolés augmente.

Cela posé, traçons sur le plan moyen de la plaque indéfinie deux axes rectangulaires ox et oy passant par deux séries de points d'appui, et supposons ce plan moyen divisé en une série de rectangles ayant pour sommets les points d'appui ; il est clair que de part et d'autre des deux axes les déformations se reproduisent symétriquement et périodiquement en passant d'un rectangle à un autre. On pourra donc considérer la surface moyenne de la plaque déformée comme composée d'une série de surfaces rectangulaires partielles identiques sous le rapport des déformations et se raccordant entre elles sur les lignes d'appui, au droit desquelles, si le plan moyen de la plaque était primitivement horizontal, les tangentes aux sections déterminées dans la surface moyenne par des plans verticaux perpendiculaires à ces lignes devront être par conséquent horizontales, ce qui revient à regarder chaque rectangle élémentaire comme encastré sur son contour.

Ces deux conditions, d'encastrement sur le contour des

(*) Au moins dans les circonstances ordinaires, où l'on peut admettre qu'il y a encastrement sur tout le périmètre du cadre.

rectangles élémentaires, et de périodicité des déformations en passant d'un espace rectangulaire à un autre, suffisent avec l'équation différencielle (1), servant de point de départ, pour rendre le problème complétement déterminé, en l'absence des équations au contour qui se trouvent supprimées par la nature même du problème. (Voir la note 2.)

Nous supposerons d'abord que les réactions des points d'appui, au lieu de se concentrer en un seul point, se répartissent uniformément sur des espaces rectangulaires $2a'$ et $2b'$. Si nous désignons d'autre part par $2a$ et $2b$ les dimensions correspondantes des espaces rectangulaires, la fonction Z de l'équation (1) pourra être considérée en chaque point comme étant la différence de deux fonctions, l'une partout égale à la charge uniforme p, l'autre, partout nulle, sauf dans chaque petit espace rectangulaire d'appui où elle aura pour valeur

$$p\frac{ab}{a'b'}.$$

IV. Cela posé, l'application des formules données par Fourier pour la représentation des fonctions périodiques au moyen d'intégrales définies, en ayant égard à l'équation différencielle (1) et aux autres conditions du problème, donne pour z, la flèche en chaque point, l'expression suivante :

$$(3)\quad z=\frac{2p}{\varepsilon}\left[\begin{array}{l}\displaystyle\sum_1^\infty \frac{\sin\frac{m\pi a'}{a}\left(1-\cos\frac{m\pi x}{a}\right)}{\frac{m\pi a'}{a}\cdot\frac{m^4\pi^4}{a^4}}+\sum_1^\infty\frac{\sin\frac{n\pi b'}{b}\left(1-\cos\frac{n\pi y}{b}\right)}{\frac{n\pi b'}{b}\cdot\frac{n^4\pi^4}{b^4}}\\[2ex] \displaystyle +2\sum_1^\infty\sum_1^\infty\frac{\sin\frac{m\pi a'}{a}\sin\frac{n\pi b'}{b}\left(1-\cos\frac{m\pi x}{a}\cos\frac{n\pi y}{b}\right)}{\frac{m\pi a'}{a}\,\frac{n\pi b'}{b}\,\left(\frac{m^2\pi^2}{a^2}+\frac{n^2\pi^2}{b^2}\right)^2}\end{array}\right]$$

m et n étant des nombres entiers croissant indéfiniment à partir de 1.

Dans cette expression, les flèches sont rapportées au plan passant par les centres des appuis, lequel peut être fixe ou se déplacer parallèlement suivant la nature des appuis.

On pourrait vérifier *à posteriori* que cette expression de z satisfait bien à toutes les conditions du problème.

Si a' et b' deviennent infiniment petits, l'expression (3) devient :

$$(4) \quad z = \frac{2p}{\varepsilon}\left[\sum_1^\infty \frac{1-\cos\frac{m\pi x}{a}}{\frac{m^4\pi^4}{a^4}} + \sum_1^\infty \frac{1-\cos\frac{n\pi y}{b}}{\frac{n^4\pi^4}{b^4}} + \right.$$

$$\left. + 2\sum_1^\infty\sum_1^\infty \frac{1-\cos\frac{m\pi x}{a}\cos\frac{n\pi y}{b}}{\left(\frac{m^2\pi^2}{a^2}+\frac{n^2\pi^2}{b^2}\right)^2}\right].$$

V. *Calcul des flèches en différents points.* — Dans cette dernière hypothèse, on obtient pour la flèche au milieu de la ligne droite joignant deux points d'appui du même système, l'expression :

$$(5) \quad f_a = \frac{4p}{\varepsilon}\left[\frac{a^4}{\pi^4}\sum_1^\infty \frac{1}{m^4} + 2\frac{a^4b^4}{\pi^4}\sum_1^\infty\sum_1^\infty \frac{1}{(m^2b^2+n^2a^2)^2}\right],$$

où l'on doit faire m toujours impair, n étant pair ou impair.

Au centre des rectangles d'appui, on obtiendra :

$$(6) \quad f_c = \frac{4p}{\varepsilon}\left[\frac{a^4}{\pi^4}\sum_1^\infty \frac{1}{m^4} + \frac{b^4}{\pi^4}\sum_1^\infty \frac{1}{n^4} + \right.$$

$$\left. + 2\frac{a^4b^4}{\pi^4}\sum_1^\infty\sum_1^\infty \frac{1}{(m^2b^2+n^2a^2)^2}\right],$$

où m et n doivent toujours être pris impairs dans les deux premières sommes, et de différente parité dans la dernière.

La flèche centrale est la plus grande, ainsi qu'on devait

s'y attendre, et moindre que la somme des flèches sur les lignes d'appui, ce qu'il serait facile de vérifier.

VI. *Cas particulier de la plaque encastrée.* — S'il s'agissait d'une plaque appuyée d'une manière continue sur une série de lignes parallèles équidistantes, on ferait dans les expressions précédentes $b = 0$; on obtiendrait ainsi :

$$(7) \qquad z = \frac{2pa^4}{\varepsilon\pi^4} \sum_1^\infty \frac{1 - \cos \frac{m\pi x}{a}}{m^4},$$

et pour l'expression de la flèche au milieu :

$$(8) \qquad f_{a'} = \frac{4pa^4}{\varepsilon} \sum_1^\infty \frac{1}{m^4}.$$

Cette flèche n'est autre que celle qui est donnée dans les traités de résistance des matériaux pour le cas d'une pièce droite encastrée à ses extrémités et chargée uniformément.

On vérifierait facilement en effet que l'on a :

$$\sum_1^\infty \frac{1}{m^4} = \frac{\pi^4}{96},$$

d'où l'on tire :

$$(9) \qquad f_{a'} = \frac{pa^4}{24\varepsilon}.$$

VII. On remarquera que la flèche centrale f_0, qui est plus grande que la somme des flèches correspondant pour la pièce encastrée aux portées $2a$ et $2b$, est moindre que celle qui, dans la même hypothèse, correspondrait à une portée égale à la diagonale $2\sqrt{a^2 + b^2}$.

Cette flèche serait en effet :

$$f_{d'} = \frac{p}{24\varepsilon} \left(\sqrt{a^2 + b^2}\right)^4 = \frac{p}{24\varepsilon} (a^4 + b^4 + 2a^2b^2) =$$
$$= f_{a'} + f_{b'} + 2\sqrt{f_{a'} f_{b'}}.$$

On peut écrire, d'autre part :

$$f_o = f_{a'+b'} + \frac{8pa^4b^4}{\varepsilon\pi^4}\sum_1^\infty\sum_1^\infty \frac{1}{(m^2b^2+n^2a^2)^2};$$

or, on a :

$$\frac{8pa^4b^4}{\varepsilon\pi^4}\sum_1^\infty\sum_1^\infty \frac{1}{(m^2b^2+n^2a^2)^2} < \frac{4pa^2b^2}{\varepsilon\pi^4}\sum_1^\infty \frac{1}{m^2}\sum_1^\infty \frac{1}{n^2},$$

$$\text{ou} < \frac{pa^2b^2}{32\varepsilon}, \qquad \text{ou} < \frac{4}{3}\sqrt{f_{a'}f_{b'}},$$

en remplaçant le produit des deux sommes d'inverses de quarrés où l'on doit prendre m impair avec n pair et réciproquement par sa valeur

$$2\,\frac{\pi^2}{8}\,\frac{\pi^2}{32}.$$

Il suit de là qu'on a :

$$f_o < f_{d'}.$$

On a d'ailleurs :

$$f_a > f_{a'}.$$

L'assertion de M. Callon, que la flèche entre les points d'appui est plus grande que pour la pièce encastrée d'une portée égale à leur distance, tandis que la flèche centrale est moindre que celle d'une pièce encastrée d'une portée égale a la diagonale, se trouve ainsi vérifiée.

On voit en outre qu'on obtiendra une valeur approchée de la flèche centrale en ajoutant à la somme des flèches correspondant pour la pièce encastrée aux portées $2a$ et $2b$ la moyenne proportionnelle entre elles, ou ce qui est la même chose, en prenant une moyenne arithmétique entre la somme de ces flèches et la flèche correspondant à la diagonale.

VIII. *Courbures et efforts maxima.* — Pour avoir une idée complète de la surface déformée, et évaluer les efforts maxima, il reste à étudier les courbures aux différents

points. Les efforts maxima s'en déduiront en multipliant les courbures par le coefficient d'élasticité de la matière E et par la demi-épaisseur e de la plaque.

En raison de la symétrie de la surface déformée par rapport aux axes des coordonnées, ainsi que par rapport aux parallèles menées à ces axes par les centres des rectangles que forment les points d'appui, les plus grandes courbures se trouveront sur les sections parallèles aux axes passant par un point de leur longueur ou par un point de ces parallèles. Or, les courbures des sections dont il s'agit auront pour expressions :

$$\frac{\frac{d^2z}{dx^2}}{\left(1+\frac{d^2z}{dx^2}\right)^{\frac{3}{2}}} \quad \text{et} \quad \frac{\frac{d^2z}{dy^2}}{\left(1+\frac{d^2z}{dy^2}\right)^{\frac{3}{2}}},$$

expressions qui, attendu que $\frac{dz}{dx}$ et $\frac{dz}{dy}$ sont nuls ou toujours très-petits, donnent, pour les efforts maxima, la valeur très-approchée :

$$T = Ee\frac{d^2z}{dx^2} \quad \text{ou} \quad Ee\frac{d^2z}{dy^2}.$$

Or on a en général :

$$(10) \qquad \frac{d^2z}{dx^2} = -\frac{2pa^2}{\varepsilon\pi^2}\sum_1^\infty \frac{\sin\frac{m\pi a'}{a}\cdot\cos\frac{m\pi x}{a}}{\frac{m\pi a'}{a}\cdot m^2} -$$

$$-\frac{4pa^2b^4}{\varepsilon\pi^2}\sum_1^\infty\sum_1^\infty \frac{m^2\sin\frac{m\pi a'}{a}\sin\frac{n\pi b'}{b}\cos\frac{m\pi x}{a}\cos\frac{n\pi y}{b}}{\frac{m\pi a'}{a}\,\frac{n\pi b'}{b}\,(m^2b^2+n^2a^2)^2}.$$

Cette expression, à laquelle correspond une expression analogue pour $\frac{d^2z}{dz^2}$, devient, pour $\frac{a'}{a}$ et $\frac{b'}{b}$ infiniment petits, au centre de l'un des espaces rectangulaires :

$$(11)\quad \left(\frac{d^2z}{dx^2}\right)_c = -\frac{2pa^2}{\varepsilon\pi^2}\sum_1^\infty \frac{\cos m\pi}{m^2} - \frac{4pa^2b^4}{\varepsilon\pi^2} \sum_1^\infty \sum_1^\infty \frac{m^2 \cos m\pi \cos n\pi}{(m^2b^2+n^2a^2)^2},$$

d'où l'on déduira en remarquant que l'on a :

$$\varepsilon = \mathrm{E}\,.\,2e\,.\,\frac{1}{3}\,e^2, \text{ } e \text{ étant la demi-épaisseur.}$$

$$(12)\quad \mathrm{T}_{cx} = -\frac{3pa^2}{e^2\pi^2}\sum_1^\infty \frac{\cos m\pi}{m^2} - \frac{6pa^2b^4}{e^2\pi^2} \sum_1^\infty \sum_1^\infty \frac{m^2 \cos m\pi \cos n\pi}{(m^2b^2+n^2a^2)^2},$$

T_{cx} désignant l'effort maximum au centre c et dans la direction x.

On trouverait de même, en employant les mêmes notations, pour les efforts maxima dans les deux directions des axes des coordonnées, au milieu de la ligne d'appui parallèle à l'axe des x :

$$(13)\quad \mathrm{T}_{ax} = -\frac{3pa^2}{e^2\pi^2}\sum_1^\infty \frac{\cos m\pi}{m^2} - \frac{6pa^2b^4}{e^2\pi^2} \sum_1^\infty \sum_1^\infty \frac{m^2 \cos m\pi}{(m^2b^2+n^2a^2)^2}.$$

$$(14)\quad \mathrm{T}_{ay} = -\frac{3pb^2}{e^2\pi^2}\sum_1^\infty \frac{1}{n^2} - \frac{6pa^4b^2}{e^2\pi^2} \sum_1^\infty \sum_1^\infty \frac{n^2 \cos m\pi}{(m^2b^2+n^2a^2)^2}.$$

On aurait de même :

$$(15)\quad \mathrm{T}_{bx} = -\frac{3pa^2}{e^2\pi^2}\sum_1^\infty \frac{1}{m^2} - \frac{6pa^2b^4}{e^2\pi^2} \sum_1^\infty \sum_1^\infty \frac{m^2 \cos n\pi}{(m^2b^2+n^2a^2)^2}.$$

IX. En comparant les séries qui entrent dans la composition de l'expression de T_{cx}, T_{ax}, T_{bx}, on reconnaîtrait que la valeur absolue de la première de ces quantités est toujours moindre que celle des deux autres, et que la se-

conde, moindre que la troisième pour de très-petites valeurs de b, finit par surpasser celle-ci quand b devient égal à a.

Le signe de chacune de ces expressions indique d'autre part qu'au centre des espaces rectangulaires les courbures sont toutes dirigées dans le même sens, la concavité étant tournée du côté de la charge, tandis qu'entre les points d'appui les courbures des deux sections rectangulaires sont en sens opposés; pour la section passant par les points d'appui, la concavité est encore tournée vers la charge, mais la concavité de la section perpendiculaire est opposée à la charge. C'est la première de ces deux sections qui, lorsque les espacements des points d'appui deviennent égaux, donne le plus grand effort maximum.

X. Si l'on suppose les espacements nuls dans un sens, ce qui revient à supposer la plaque encastrée suivant une série de lignes d'appui, on fera $b = 0$ dans les formules, et l'on obtiendra ainsi:

$$(16) \qquad T_{e'a} = T_{a'a} = -\frac{3pa^2}{e^2\pi^2}\sum_1^{\infty}\frac{\cos m\pi}{m^2} = -\frac{pa^2}{4e^2}.$$

C'est l'expression que fournit la théorie ordinaire de la résistance des matériaux pour l'effort maximum au milieu d'une pièce prismatique encastrée chargée uniformément.

XI. Si l'on fait $a = b$, on trouve approximativement:

$$\sum_1^{\infty}\sum_1^{\infty}\frac{m^2\cos m\pi\cos n\pi}{(m^2+n^2)^2} = 0{,}13,$$

$$\sum_1^{\infty}\sum_1^{\infty}\frac{m^2\cos m\pi}{(m^2+n^2)^2} = 0{,}15,$$

$$\sum_1^{\infty}\sum_1^{\infty}\frac{m^2\cos n\pi}{(m^2+n^2)^2} = 0{,}50.$$

On en déduit:

$$T_{ex} = \frac{pa^2}{e^2}\,0{,}17, \qquad T_{ax} = \frac{pa^2}{e^2}\,0{,}34, \qquad T_{bx} = \frac{pa^2}{e^2}\,0{,}20.$$

Le rapport du plus grand de ces efforts à l'effort au milieu de la pièce encastrée supportant même charge est :

$$\frac{T_{ax}}{T_{a'x}} = \frac{0,34}{0,23} = 1,36.$$

XII. Jusqu'à présent nous avons laissé de côté les efforts dans les parties voisines des points d'appui ; en ces points, on déduira de l'expression générale de la courbure :

$$(17) \qquad T_{ox} = -\frac{3pa^2}{e^2\pi^2}\sum_1^\infty \frac{\sin\frac{m\pi a'}{a}}{\frac{m\pi a'}{a}\cdot m^2} - \frac{6pa^2b^4}{e^2\pi^2}$$

$$\sum_1^\infty\sum_1^\infty \frac{\sin\frac{m\pi a'}{a}\sin\frac{n\pi b'}{b}m^2}{\frac{m\pi a'}{a}\frac{n\pi b'}{b}(m^2b^2+n^2a^2)^2}.$$

On peut démontrer que tant que $\frac{a'}{a}$ et $\frac{b'}{b}$ ne sont pas infiniment petits, cette expression reste finie ; si ces rapports deviennent infiniment petits, elle devient :

$$(18) \qquad T_{ox} = -\frac{3pa^2}{e^2\pi^2}\sum_1^\infty\frac{1}{m^2} - \frac{6pa^2b^4}{e^2\pi^2}\sum_1^\infty\sum_1^\infty\frac{m^2}{(m^2b^2+n^2a^2)^2}.$$

Or, il est facile de voir que la deuxième des séries entrant dans la composition de cette expression est divergente. L'effort maximum devient donc infini (*). (Voir la note III.)

(*) On pourrait objecter que la divergence de la série qui exprime le moment fléchissant maximum, dans le cas où les surfaces d'appui diminuent à l'infini, n'entraîne pas nécessairement le danger de rupture, parce que la série peut bien alors cesser de représenter le moment fléchissant. Mais on peut se rendre compte de ce danger d'une autre manière.

Si l'on découpe à travers l'épaisseur de la paroi un petit cylindre dont l'axe soit parallèle aux axes des appuis, avec un rayon

Il suit de là que la valeur de cet effort, près des points d'appui, dépend essentiellement de la grandeur des surfaces d'appui, et qu'on s'exposerait à voir la plaque métallique se rompre sur ces surfaces, si on les faisait trop petites.

On peut d'ailleurs constater que tant que le rapport des dimensions a' et b' des rectangles d'appui aux dimensions des rectangles des intervalles restera compris dans certaines limites, les efforts maxima aux points d'appui resteront eux-mêmes assez petits.

Le tableau ci-dessous donne, dans l'hypothèse de $\begin{cases} a = b \\ a' = b' \end{cases}$ pour une série de valeurs du rapport $\frac{a'}{a}$, les valeurs du coefficient de $\frac{pa^2}{e^2}$ dans l'expression de T_{ox}, et les rapports de ces valeurs à celle de l'effort maximum au milieu de la pièce encastrée précédemment désignée par T_{ax}:

VALEURS de $\frac{a'}{a}$	COEFFICIENT de $\frac{pa^2}{e^2}$	RAPPORT $\frac{T_{ox}}{T_{a'x}}$	RAPPORT $\frac{T_{ox}}{T_{ax}}$
$\frac{1}{25}$	1,68	6,72	4,91
$\frac{1}{12,5}$	1,30	5,20	3,82
$\frac{1}{10}$	1,21	4,84	3,56
$\frac{1}{5}$	0,82	3,28	2,41

suffisant pour comprendre la section de l'un de ces appuis, la paroi éprouve sur la surface de ce cylindre un effort de glissement transversal égal à la réaction de l'appui, diminuée de la portion de charge due à la pression uniforme sur la base du petit cylindre. Si le diamètre du cylindre peut décroître indéfiniment, sans qu'il cesse de comprendre la surface d'appui, l'effort de glissement transversal rapporté à l'unité de surface, qu'on obtient en divisant la réaction de l'appui par la surface latérale du cylindre, devient alors infini.

La dernière colonne de ce tableau donne en outre le rapport de l'effort maximum aux points d'appui au plus grand effort maximum entre les points d'appui, qui est celui que nous avons désigné par T_{ax}. On voit que ce dernier effort maximum ne peut donner en général qu'une idée fort insuffisante du travail qui se développe dans certaines parties de la plaque.

Même dans le cas de $\frac{a'}{a} = \frac{1}{3}$, l'effort maximum au point d'appui est plus que double de l'effort maximum au milieu. On sait que dans la pièce encastrée les efforts varient seulement du simple au double en allant du milieu vers les extrémités. L'effort maximum à l'encastrement serait alors donné par la formule (15) où l'on ferait $b = 0$; on obtiendrait :

$$(19) \qquad T_{b'x} = -\frac{3pa^2}{e^2\pi^2}\sum_1^\infty \frac{1}{m^2} = -\frac{1}{2}\frac{pa^2}{e^2},$$

$$\sum_1^\infty \frac{1}{m^2} \text{ ayant pour valeur } \frac{\pi^2}{6}.$$

XIII. En résumé, sous l'action de la charge uniforme, chacun des espaces rectangulaires dont les points d'appui forment les sommets présente en s'infléchissant trois sortes de régions distinctes : 1° une région centrale où la concavité est tournée vers la charge et où les courbures et les efforts maxima varient entre des limites assez rapprochées ; 2° des régions intermédiaires dont les centres sont au milieu des lignes joignant les points d'appui, à courbures opposées, où les efforts maxima sont plus grands que dans la région centrale ; 3° des régions extrêmes, où la courbure est tournée à l'opposé de la région centrale et où les efforts maxima croissent rapidement à mesure que l'on se rapproche des centres des points d'appui et que l'on fait décroître l'étendue des surfaces d'appui. C'est là surtout qu'il importera de se rendre compte de l'intensité des

efforts maxima pour calculer l'épaisseur à donner à la plaque métallique eu égard à l'espacement et aux dimensions des tirants.

CHAPITRE III.

APPLICATION DES FORMULES.

XIV. Il nous reste à comparer les résultats de notre analyse avec les formules données par M. Callon, et à examiner quel parti on peut en tirer dans la pratique.

M. Callon, en considérant la flexion au milieu de la pièce prismatique encastrée à ses deux extrémités qu'il substitue à la plaque métallique, pose d'abord la formule :

$$R = 0{,}25 \frac{p}{a} \frac{l^2}{e^2},$$

où R désigne l'effort maximum, l la portée, e l'épaisseur et $\frac{p}{a}$ la charge par mètre quarré.

Cette formule ne diffère pas de celle que nous avons trouvée pour l'effort maximum au milieu des intervalles dans le cas de lignes continues d'appui :

$$R = T = \frac{pa^2}{4e^2},$$

où a et e désignent la demi-portée et la demi-épaisseur, p la pression par mètre quarré.

M. Callon calcule ensuite l'effort maximum qui se produirait au milieu d'une pièce encastrée d'une longueur moyenne entre le côté et la diagonale du quarré sous la même charge uniforme, et il passe ainsi à la formule :

$$(20) \qquad R = \frac{(1+\sqrt{2})^2}{2} 0{,}25 \frac{p}{a} \frac{l^2}{e^2} = 1.456 . 0{,}25 \frac{p}{a} \frac{l^2}{e^2},$$

d'où il déduit en exprimant la pression en atmosphères, faisant $R = 4\,000\,000$ et tirant la valeur de e, l'expression :

$$e = 0{,}3l\sqrt{n-1}, \tag{21}$$

où n désigne le nombre d'atmosphères de pression absolue.

Or, en ne considérant que les efforts maxima dans la partie moyenne de la plaque, nous avons trouvé pour le plus grand de ces efforts que nous désignerons maintenant par R :

$$R = 1{,}36 \cdot 0{,}25 \cdot \frac{pa^2}{e^2}.$$

Le coefficient 1.36 remplace le coefficient 1.456 de la formule de M. Callon.

Le rapport entre ces coefficients est $\frac{1.36}{1.456} = 0.934$. Il en résulte que R restant le même, la valeur que l'on tirerait pour e de la formule (20) serait moindre dans le rapport de $\sqrt{0.934}$ à 1 ou 0.967. La formule de M. Callon donne donc un léger surcroît d'épaisseur qui augmente la sécurité.

XV. Si maintenant on passe aux efforts qui se produisent aux points d'appui dans la série des cas examinés précédemment, lorsque le rapport $\frac{a'}{a} = \frac{b'}{b}$ varie depuis $\frac{1}{25}$ jusqu'à $\frac{1}{5}$, limites entre lesquelles il reste généralement compris dans la pratique, et que l'on compare les efforts déduits de nos formules à ceux que l'on tire de la formule (20) pour les mêmes valeur de l et de e, puis les épaisseurs pour les mêmes valeurs de R et de l dans l'un et l'autre système de formules, on trouve en désignant par R' et par e' les efforts maxima et les épaisseurs que l'on déduit de nos formules :

VALEURS du rapport $\frac{a'}{a}$	$\frac{R'}{R}$	$\frac{e'}{e}$
$\frac{1}{25}$	4,61	2,15
$\frac{1}{12,5}$	3,57	1,89
$\frac{1}{10}$	3,32	1,82
$\frac{1}{5}$	2,25	1,50

Le surcroît d'épaisseur à donner varierait entre la moitié et le double de l'épaisseur fournie par les tables de M. Callon.

On peut objecter, il est vrai, que les expressions qui ont servi à calculer les valeurs de R' donnent les efforts maxima en des points où en raison de la disposition ordinaire des appuis et des entretoises les formules doivent cesser de s'appliquer.

Mais il y a lieu de remarquer; 1° que, dans le voisinage des centres des surfaces d'appui qui correspondent au maximum des efforts, ces efforts diffèrent fort peu de ceux des centres; 2° que, si les appuis consistent en boulons ou entretoises traversant la paroi métallique, la suppression de la faculté de résistance à l'extension dans la portion de surface découpée pour le passage de ces tirants, doit avoir pour effet de reporter sur les points voisins des efforts de tension plus considérables. Pour ce double motif, lorsque d'ailleurs l'étendue de la paroi et le nombre des tirants sont assez grands pour qu'on puisse assimiler les rectangles d'appui moyens a des portions de paroi indéfinie, les efforts maxima réels ne doivent pas s'écarter beaucoup de ceux résultant de nos formules, qui, en donnant, dans les cas ordinaires de la pratique, pour l'effort maximum aux points

d'appui, une valeur environ double de celle de l'effort au milieu, ne font qu'étendre aux plaques métalliques ce que l'on sait déjà des prismes encastrés.

CHAPITRE IV.

CONSÉQUENCES PRATIQUES DE L'APPLICATION DES FORMULES.

XVI. Il existe divers systèmes de consolidation pour les faces planes des chaudières à vapeur.

Quand il s'agit de soutenir des faces planes parallèles situées à une assez grande distance l'une de l'autre, on les relie au moyen de tirants s'adaptant aux faces planes par l'intermédiaire de patins ou de semelles qui renforcent les faces planes sur une certaine étendue. Ces patins sont généralement formés de deux fers à cornière assemblés sur les parois au moyen de rivets, et percés, en même temps que l'extrémité du tirant, d'un œil où passe un boulon.

D'autres fois, pour consolider les parois des foyers dans les lames d'eau, on réunit ces parois, placées à une faible distance l'une de l'autre, par des entretoises consistant dans un boulon ou un rivet traversant les deux parois. Pour prévenir le rapprochement des deux parois, il arrive souvent qu'on fait passer ce boulon dans un fourreau interposé entre elles contre lequel on les serre au moyen du rivetage ou de l'écrou : les parois sont habituellement renforcées alors par des semelles d'une certaine étendue faisant office de rondelles; souvent aussi le fourreau est supprimé, et on se contente d'un simple boulon fileté traversant les deux parois préalablement taraudées.

Le premier de ces modes de consolidation, qui ne tend pas à affaiblir les parois dans la partie centrale des surfaces d'appui, et qui donne à ces surfaces une assez grande étendue, est très-satisfaisant au point de vue théorique. En donnant aux patins un empatement convenable, on peut

réduire notablement les efforts maxima se produisant en leurs centres, et faire qu'ils ne dépassent pas ceux qui tendent à se développer à égale distance des points d'appui.

Dans le second cas, la paroi, au point où elle est percée, tend, par l'effet de sa courbure, convexe vers le dedans, que lui fait prendre la pression, à presser le périmètre du boulon à l'extérieur et à s'en écarter à l'intérieur. S'il existe un fourreau, le serrage de la paroi entre le bord du fourreau et la tête du boulon ou du rivet remédie à cet écartement en substituant à l'extension de la matière de la paroi dans la portion supprimée celle des deux corps entre lesquels elle est serrée, par l'effet du frottement énergique qui se développe sur les surfaces de contact. D'autre part, la semelle qui renforce la paroi autour du rivet et la tête du rivet elle-même contribuent à agrandir la surface d'appui. On peut donc encore parvenir par ce moyen, en faisant la semelle assez large, à réduire les efforts maxima dans une forte proportion sans être conduit à trop rapprocher les entretoises.

Si, au contraire, on se contente d'entretoises simplement filetées, on voit qu'on peut bien encore satisfaire à la condition d'éviter l'écartement intérieur de la paroi, qui tend à se détacher de l'entretoise, par l'effet d'un serrage énergique, mais qu'on cesse d'obvier à l'exagération des efforts de tension et de compression par suite de la réduction de la surface d'appui à de très-faibles dimensions. La prudence commande alors de rapprocher davantage les axes des entretoises pour une épaisseur de paroi et une pression données. Si l'on suppose le diamètre des entretoises environ dix fois moindre que leur espacement, comme cela a lieu habituellement, l'épaisseur calculée au moyen de la formule de M. Callon devra être augmenté de 80 p. 100 environ pour rester dans de bonnes conditions de résistance.

L'insuffisance de l'épaisseur des parois planes consolidées par des entretoises est souvent accusée par les cassu-

res qui, dans les foyers, se dessinent autour des entretoises, et peuvent être considérées comme dues à la prédominance des efforts qui s'exercent en ces points. A l'intérieur des foyers, les effets de la dilatation viennent, il est vrai, compliquer ceux de la pression ; mais ces effets ne peuvent entraîner des déformations spéciales bien sensibles que sur le pourtour des parois; dans les parties centrales, les seules auxquelles puissent s'appliquer avec une exactitude suffisante les formules précédentes, les points d'attache des entretoises ou des tirants, se déplaçant sous l'action de la dilatation comme les autres parties des intervalles situés entre les points d'appui, ne peuvent éprouver, par ce fait, des efforts plus considérables que les autres points ; si donc la fatigue y est plus grande, c'est la prédominance des effort dûs à la pression qui en est cause.

XVII. *Conclusion.* — Les calculs que nous avons exposés et les considérations pratiques dont nous les avons fait suivre nous autorisent à formuler la conclusion suivante :

Les formules habituellement employées pour le calcul des épaisseurs des parois planes en fonction de la pression effective et de l'espacement des tirants ne doivent être appliquées qu'avec réserve, et à la condition de vérifier que les surfaces d'appui sont suffisantes pour que les efforts de contraction et de tension n'y dépassent pas l'effort limite. Une diminution de la surface d'appui doit entraîner une diminution correspondante de l'espacement des tirants pour une épaisseur de paroi donnée, et il conviendrait, pour tenir un compte suffisant des efforts maxima susceptibles de se développer dans le cas de parois consolidées par de simples entretoises, de réduire de près de moitié les espacements donnés par les formules usuelles.

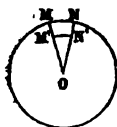
Dieppe, le 16 novembre 1871.

NOTES JUSTIFICATIVES.

NOTE I.

On peut parvenir à l'équation différencielle de Navier de la manière suivante :

Soit *o* un point de la paroi pris sur la surface moyenne. Décrivons de ce point, avec un rayon *r* très-petit, une circonférence dans le plan tangent à cette surface, et menons par deux points infiniment voisins, pris sur cette circonférence, deux plans normaux OM et ON, faisant entre eux un angle $d\omega$. Nous admettrons qu'après la flexion ces plans restent encore normaux à la surface moyenne.



Cela posé, considérons le solide prismatique MON. Une portion très-petite MNM'N' de ce solide, prise à partir de MN, peut être assimilée au point de vue de la flexion à une portion de pièce droite. Soit μ le moment de flexibilité par unité de longueur d'une section normale de la paroi supposée d'épaisseur constante : le moment de flexibilité de la section MN du prisme sera $\mu r d\omega$. Désignons par z la flèche prise par un point de coordonnées x et y de la surface moyenne. L'une des équations d'équilibre entre tous les efforts de compression et de tension se produisant sur la face M'N', d'une part, et, d'autre part, toutes les forces agissant d'un même côté du contour MM'N'N, pourra s'écrire :

$$\mu r d\omega \frac{d^2 z}{dr^2} = \sum M + \sum N,$$

Le deuxième membre de cette équation étant le moment fléchissant dans la section M'N' qui se décompose en deux parties : 1° la somme des moments correspondant aux charges extérieures agissant sur le prisme M'ON' ; 2° la somme des moments des forces supportées par les faces latérales MM'NN' du solide MNM'N'.

Prenant les dérivées des deux membres de l'équation ci-dessus par rapport à r, on obtient :

$$\mu d\omega \left\{ r \frac{d^3 z}{dr^3} + \frac{d^2 z}{dr^2} \right\} = \sum M' + \sum N',$$

M' et N' étant les dérivées de M et de N.

Or M est le produit d'une force par une distance qui augmente de dr quand on passe d'une section à une autre section infiniment voisine. En sus du produit de chaque force par dr, la somme des moments ΣM ne peut s'accroître que de produits infiniment petits du deuxième ordre obtenus en multipliant des forces infiniment petites par des distances de l'ordre de dr.

L'équation ci-dessus peut donc s'écrire, en désignant par ΣP la somme des forces qui produisent le moment ΣM,

$$\mu d\omega \left\{ r \frac{d^3 z}{dr^3} + \frac{d^2 z}{dr^2} \right\} = \sum \mathrm{P} + \sum \mathrm{N}'.$$

Prenant encore une fois les dérivées par rapport à r et remarquant que l'accroissement de ΣP ne sera autre chose que la portion de charge extérieure agissant sur la portion de couronne MNM'N' ou $prd\omega dr$, p étant la charge par unité de surface, on obtient :

$$\mu d\omega \left\{ r \frac{d^4 z}{dr^4} + 2 \frac{d^3 z}{dr^3} \right\} = prd\omega + \sum \mathrm{N}''.$$

Si maintenant on suppose r extrêmement petit et qu'on intègre de 0 à 2π par rapport à ω les deux membres de l'équation ci-dessus, on a :

$$\mu r \int_0^{2\pi} \frac{d^4 z}{dr^4}\, d\omega + 2\mu \int_0^{2\pi} \frac{d^3 z}{dr^3}\, d\omega = 2\pi pr + \int_0^{2\pi} \sum \mathrm{N}'' d\omega,$$

où l'on peut remarquer que dans la somme formant le deuxième terme du deuxième membre, les forces agissant sur les faces latérales des portions de prismes qui composent la couronne d'épaisseur dr donnent des termes égaux deux à deux et de signes contraires qui se détruisent, en sorte que l'équation se réduit à :

$$\mu r \int_0^{2\pi} \frac{d^4 z}{dr^4}\, d\omega + 2\mu \int_0^{2\pi} \frac{d^3 z}{dr^3}\, d\omega = 2\pi pr.$$

Or, en un point donné, $\frac{d^4 z}{dr^4}$ et $\frac{d^3 z}{dr^3}$, considérées comme des fonctions de ω, peuvent s'exprimer en fonctions des dérivées de z par rapport à x et y.

Par dérivées successives, remarquant que l'on a :

$$dx = dr \cos \omega \qquad dy = dr \sin \omega,$$

on obtient :

$$\frac{d^3z}{dr^3} = \frac{d^3z}{dx^3}\cos^3\omega + 3\,\frac{d^3z}{dx^2dy}\cos^2\omega\sin\omega + 3\,\frac{d^3z}{dxdy^2}\sin^2\omega\cos\omega + \\ + \frac{d^3z}{dy^3}\sin^3\omega\,;$$

$$\frac{d^4z}{dr^4} = \frac{d^4z}{dx^4}\cos^4\omega + 6\,\frac{d^4z}{dx^2dy^2}\cos^2\omega\sin^2\omega + 4\,\frac{d^4z}{dx^3dy}\cos^3\omega\sin\omega + \\ + 4\,\frac{d^4z}{dxdy^3}\cos\omega\sin^3\omega + \frac{d^4z}{dy^4}\sin^4\omega.$$

D'où l'on tire, en portant ces valeurs dans l'équation précédente et effectuant l'intégration où l'on remarquera que le deuxième terme du premier membre est identiquement nul :

$$\frac{3\mu\pi r}{4}\left\{\frac{d^4z}{dx^4} + \frac{d^4z}{dy^4} + 2\,\frac{d^4z}{dx^2dy^2}\right\} = 2\pi pr,$$

qui devient, toutes réductions faites :

$$p = \frac{3}{8}\,\mu\left\{\frac{d^4z}{dx^4} + \frac{d^4z}{dy^4} + 2\,\frac{d^4z}{dx^2dy^2}\right\}.$$

En remplaçant par εh^3 le coefficient $\frac{3}{8}\mu$, on obtient l'équation différencielle donnée par Navier :

$$z = \varepsilon h^3\left\{\frac{d^4z}{dx^4} + 2\,\frac{d^4z}{dx^2dy^2} + \frac{d^4z}{dy^4}\right\}.$$

Cette équation, appliquée au cas d'une plaque rectangulaire reposant sur son contour et chargée uniformément, le conduit, pour la flèche en un point quelconque, en désignant par a et b les côtés du rectangle à l'expression :

$$z = \frac{16p}{\pi^6\varepsilon h^3}\sum_1^\infty\sum_1^\infty \frac{\sin\frac{m\pi x}{a}\sin\frac{n\pi y}{b}}{mn\left(\frac{m^2}{a^2} + \frac{n^2}{b^2}\right)^2},$$

laquelle devient pour b infini :

$$z = \frac{4pa^4}{\pi^5\varepsilon h^3}\sum_1^\infty \frac{\sin\frac{m\pi x}{a}}{m^5};$$

on en tire pour l'expression de la flèche au milieu de la portée :

$$f = \frac{4pa^4}{\pi^5\varepsilon h^3}\sum_1^\infty \frac{\sin\frac{m\pi}{2}}{m^5},$$

où m est impair.

Il serait facile de démontrer que l'on a :

$$\sum_1^\infty \frac{\sin \frac{m\pi}{2}}{m^5} = \frac{5\pi^5}{4.384}$$

d'où l'on tire :

$$f = \frac{5pa^4}{384\varepsilon h^3};$$

mais la plaque peut être alors assimilée à un prisme chargé uniformément et reposant sur deux lignes d'appui parallèles, et, dans ce cas, si l'on désigne par ε' le produit du coefficient d'élasticité de la matière par le moment d'inertie, on a :

$$f = \frac{5pa^4}{384\varepsilon'}.$$

Le coefficient constant εh^3 de la formule de Navier doit donc être pris égal à ε'. C'est ce dernier coefficient qui figure dans notre formule où l'on a seulement supprimé l'accent.

Note II.

La périodicité avec laquelle les déformations doivent se produire en passant d'un espace rectangulaire à un autre, ces déformations devant repasser par les mêmes valeurs de part et d'autre de chaque ligne droite joignant une série de points d'appui, suffit, avec la fixité des points d'appui, pour que la fonction z, satisfaisant d'ailleurs à l'équation différencielle fondamentale, soit déterminée.

En effet, prenant deux axes des coordonnées passant par deux lignes de points d'appui, désignons par $f(x, y)$ la série des valeurs que prend z dans chaque espace rectangulaire : la fonction périodique, qui présente cette série de valeurs en reprenant en outre les mêmes valeurs lorsque x et y changent de signe, peut s'écrire, d'après les formules données par Fourier pour la représentation d'une fonction périodique quelconque, $2a$ et $2b$ étant les distances des points d'appui :

$$z = \int_0^a d\alpha \int_0^b d\beta f(\alpha\beta) + \frac{2}{ab}\sum_1^\infty \cos\frac{m\pi x}{a}\int_0^a d\alpha \cos\frac{m\pi\alpha}{a}\int_0^b f(\alpha\beta)\,d\beta +$$
$$+ \frac{2}{ab}\sum_1^\infty \cos\frac{n\pi y}{b}\int_0^b d\beta \cos\frac{n\pi\beta}{b}\int_0^a f(\alpha\beta)\,d\alpha +$$
$$+ \frac{4}{ab}\sum_1^\infty\sum_1^\infty \cos\frac{m\pi x}{a}\cos\frac{n\pi y}{b}\int_0^a d\alpha\int_0^b d\beta f(\alpha\beta)\cos\frac{m\pi\alpha}{a}\cos\frac{n\pi\beta}{b}.$$

On en déduira pour l'expression :

$$\frac{d^4z}{dx^4} + \frac{d^4z}{dy^4} + 2\,\frac{d^4z}{dx^2dy^2}$$

une valeur de la même forme ; seulement le terme constant disparaîtra ; chacun des termes de la première somme sera multiplié par $\frac{m^4\pi^4}{a^4}$, chacun des termes de la seconde somme par $\frac{n^4\pi^4}{a^4}$, et chacun des termes de la troisième, par $\pi^4\left(\frac{m^2}{a^2} + \frac{n^2}{b^2}\right)^2$.

La même expression obtenue en fonction de $Z = F(xy)$ qui est aussi périodique et satisfait à la même condition de symétrie par rapport aux axes, pourra s'écrire sous la même forme que z, à cela près que l'on remplacera $f(\alpha\beta)$ par $F(\alpha\beta)$.

Égalant les deux développements, on arrivera à conclure que les coefficients des cosinus des mêmes multiples de x et de y doivent être les mêmes dans les deux expressions. Ceux du premier développement sont donc déterminés en fonction des coefficients qui entrent dans le deuxième développement, lesquels sont connus avec la fonction $F(xy)$. La constante du premier développement qui ne fournit rien dans la différenciation restera seule indéterminée. Cette indétermination sera levée par la connaissance de la valeur de z pour $x = o$ et $y = o$.

On remarquera, d'autre part, que :

$$\int_0^a d\alpha \int_0^b d\beta F(\alpha\beta)$$

doit être nul, cette double intégrale étant la somme de toutes les pressions et réactions dans un espace rectangulaire, lesquelles se font équilibre ; d'où il suit que l'identité sera complète entre les deux développements, dès que les coefficients des cosinus des mêmes multiples de x et de y seront égaux.

Pour avoir z, il suffira de déterminer les valeurs des expressions :

$$\int_0^a d\alpha \cos\frac{m\pi\alpha}{a}\int_0^b F(\alpha\beta)d\beta, \qquad \int_0^b d\beta \cos\frac{n\pi\beta}{b}\int_0^b F(\alpha\beta)d\alpha$$

et
$$\int_0^b d\beta \int_0^a d\alpha \cos\frac{m\pi\alpha}{a}\cos\frac{n\pi\beta}{b}\,F(\alpha\beta).$$

Or
$$F(\alpha\beta) = p - p'.$$

p est constant, p' est nul sur toute l'étendue du rectangle de

dimensions a et b, sauf sur la surface du petit rectangle de dimensions a' et b' où il est égal à $p\,\frac{ab}{a'b'}$.

La double intégrale fournie par le premier terme de la différence est nulle; les doubles intégrales fournies par le second sont :

$$pab\,\frac{\sin\frac{m\pi a'}{a}}{\frac{m\pi}{a}} \qquad pab\,\frac{\sin\frac{n\pi b'}{b}}{\frac{n\pi}{b}} \qquad pab\,\frac{\sin\frac{m\pi a'}{a}\,\sin\frac{n\pi b'}{b}}{\frac{m\pi}{a}\,\frac{n\pi}{b}};$$

d'où l'on déduit, en remarquant que z est nul pour les points d'appui :

$$z = \frac{2p}{\varepsilon}\left\{\sum_1^\infty \frac{\sin\frac{m\pi a'}{a}}{\frac{m\pi a'}{a}}\,\frac{\left(1-\cos\frac{m\pi x}{a}\right)}{\frac{m^4\pi^4}{a^4}} + \ldots\ldots\right\}$$

L'hypothèse de z nul pour les points d'appui revient à rapporter les flèches z au plan passant par les centres des appuis, qui peut se déplacer parallèlement à sa position initiale. Elle ne peut influer en rien sur les efforts qui se développent dans la plaque, lesquels ne dépendent que des positions relatives des différents points de cette plaque.

Note III.

Cette convergence peut être démontrée de la manière suivante :

Posons $\frac{a'}{a} = \frac{1}{p}$, $\frac{b'}{b} = \frac{1}{q}$. Si p et q ne sont pas entiers, ils seront compris entre des nombres entiers pour lesquels la double intégrale prendra des valeurs comprenant entre elles celle qui correspondrait à p et q fractionnaires. Il suffit donc de démontrer la convergence de la série pour p et q entiers.

Développant la double somme dans cette hypothèse et posant $\frac{a^2}{b^2} = k^2$, on l'écrira ainsi :

$$\sum_1^\infty m^2 \frac{\sin\frac{m\pi}{p}}{\frac{m\pi}{p}} \left\{ \frac{\sin\frac{\pi}{q}}{\frac{\pi}{q}(m^2+k^2)^2} + \frac{\sin\frac{2\pi}{q}}{\frac{2\pi}{q}(m^2+2^2k^2)^2} + \ldots\ldots + \right.$$

$$+ \frac{\sin\frac{(q-1)\pi}{q}}{\frac{(q-1)\pi}{q}(m^2+(q-1)^2k^2)^2} - \frac{\sin\frac{\pi}{q}}{\frac{(q+1)\pi}{q}(m^2+(q+1)^2k^2)^2} -$$

$$- \frac{\sin\frac{2\pi}{q}}{\frac{(q+2)\pi}{q}(m^2+(q+2)^2k^2)^2} - \ldots - \frac{\sin\frac{(q-1)\pi}{q}}{\frac{2q-1}{q}\pi(m^2+(2q-1)^2k^2)^2}$$

Chaque groupe de termes de même signe dans la parenthèse est suivi d'un groupe de termes de signe contraire en nombre égal, tous respectivement moindres que les termes correspondants du groupe précédent ; si donc chaque groupe décroît indéfiniment, on peut considérer la série entre parenthèses comme composée de termes de signe alternatif infiniment décroissants ; elle est convergente, et on peut s'arrêter à un groupe quelconque en commettant une erreur moindre que la valeur de ce groupe.

Si l'on s'arrête au premier dont la valeur est moindre que

$$\frac{q\sin\frac{\pi}{2}}{\frac{\pi}{q}(m^2+k^2)^2} \quad \text{ou} \quad < \frac{q^2}{\pi(m^2+k^2)^2}$$

on voit que la somme Σ sera moindre que :

$$\sum \frac{m^2\sin\frac{m\pi}{p}}{\frac{m\pi}{p}} \times \frac{q^2}{\pi(m^2+k^2)^2} \quad \text{ou} \quad < \frac{q^2p}{\pi^2}\sum\frac{m\sin\frac{m\pi}{p}}{(m^2+k^2)^2},$$

ou groupant encore les termes de la même manière, on reconnaîtra que cette somme est moindre que

$$\frac{q^2p^2}{\pi^2(1+k^2)^2}$$

dont la valeur reste finie avec celle de q et p. La série est donc convergente.

Si maintenant on prend la série :

$$\sum \frac{m^2}{\left(\frac{m^2}{a^2}+\frac{n^2}{b^2}\right)^2} = a^4 \sum \frac{m^2}{(m^2+k^2n^2)^2}$$

en adoptant les mêmes notations,

Et que l'on considère d'abord une série de termes où m est le même, on peut l'écrire, en mettant de côté le multiplicateur constant :

$$\sum \frac{m^2}{(m^2+k^2)^2} + \frac{m^2}{(m^2+2^2k^2)^2} + \ldots + \frac{m^2}{(m^2+k^2m^2)^2} +$$
$$+ \frac{m^2}{(m^2+(k+1)^2m^2)^2} + \ldots + \frac{m^2}{(m^2+2^2k^2m^2)^2},$$

somme plus grande que

$$\sum \frac{m^3}{m^4(1+k^2)^2} + \frac{m^3}{m^4(1+2^2k^2)^2} + \ldots$$

ou

$$> \sum \frac{1}{m} \left\{ \frac{1}{(k^2+1)^2} + \frac{1}{(2^2k^2+1)^2} + \ldots \right\};$$

la somme entre parenthèses est convergente, $\sum \frac{1}{m}$, divergente; donc la série proposée est divergente.

N° 13

NOTE

Sur les fondations du pont de Bezons.

Par M. PICARD, ingénieur des ponts et chaussées.

Les fondations du pont de Bezons, construit sur la Seine pour la route nationale n° 192 de Neuilly à Pontoise, ont donné lieu en 1871 à des travaux assez intéressants dont nous avons fait l'objet de la présente note.

Le pont de Bezons, construit d'abord avec des arcs en bois portés sur des piles et des culées en maçonnerie, a reçu, en 1844-45, un tablier métallique droit du système Néville, auquel on a dû substituer en 1869-70 des arcs en fonte portant une chaussée pavée par l'intermédiaire de voûtes en briques. Ce travail était terminé depuis quelques mois quand sont survenus les derniers événements. Par ordre du gouvernement, les deux premières piles du pont ont été minées, et, le 13 septembre 1870, on les a fait sauter à l'aide d'un fil électrique. Les trois premières arches en fonte ont suivi la chute de ces deux piles. Quelque temps après, les Prussiens établis sur la rive droite de la Seine et craignant sans doute une sortie du côté de Bezons, ont fait sauter la culée du côté de Pontoise. La secousse a été telle, que la première pile en rivière, du même côté, s'est fortement déversée, et que les deux dernières arches sont tombées dans l'eau.

Il ne restait donc de ce pont, à la fin du siége de Paris, que deux arches sur sept et trois piles sur six.

Les deux arches encore debout, la quatrième et la cin-

quième, ont exercé sur les piles extrêmes une poussée non combattue qui a occasionné un mouvement de renversement de ces piles.

On a constaté que des fentes horizontales s'étaient produites au-dessous du niveau de l'eau, et la démolition de ces deux piles a été jugée nécessaire. La pile n° 4 seule pouvait donc rester debout.

Les cinq piles à reconstruire étaient disloquées assez profondément pour que leur reconstruction complète fût nécessaire depuis la base des fondations.

Le pont de Bezons a été construit de 1809 à 1811, avant la création du barrage de Bezons. Ses fondations ont été établies un peu au-dessous de l'étiage, de sorte que les planchers sur lesquels les piles étaient posées se trouvaient à 2 mètres au-dessous du niveau actuel de la rivière. Si la navigation de la Seine était moins importante, on aurait pu faire baisser le niveau de l'eau et le ramener à l'ancien étiage; mais il fallait reprendre les maçonneries sans coucher le barrage. Ce travail était d'autant plus difficile qu'il devait se faire en même temps que le déblaiement de la rivière. Le cube de maçonnerie et d'enrochement à enlever était de 3000 mètres environ et les fontes du pont se trouvaient enchevêtrées au milieu des débris.

On a eu recours d'abord pour l'enlèvement des fontes à des vérins et des treuils portés sur de forts bateaux. Une grande partie des fontes a été extraite par ce procédé. Les maçonneries ont dû être draguées ou démolies à l'aide de la cloche à plongeur de M. Cavé.

C'est aussi avec cet appareil que la reconstruction des piles a été commencée.

Remplacement du plancher par une aire en béton. — Lorsque les maçonneries des piles ont été démolies, on a fait avec la cloche une visite des planchers. Nous espérions les trouver en bon état, et notre première idée était de profiter de l'instrument dont nous disposions pour relever les

maçonneries depuis les fondations. Mais le premier plancher, celui de la pile du côté de Neuilly, a été trouvé mauvais. Il a fallu le démolir. Sa reconstruction en régie devant entraîner une forte dépense, nous avons proposé d'arracher les chapeaux qui portaient ce plancher, de découvrir la tête des pieux sur $0^{m}.50$ de hauteur et d'entourer les pieux d'une aire en béton coulé sous la cloche, de $0^{m}.50$ d'épaisseur, dépassant tout le pourtour de la fondation et reposant sur des enrochements déjà anciens et bien tassés.

Cette opération a été exécutée sur les cinq piles. Le dessus de l'aire en béton se trouvait à $2^{m}.40$ environ au-dessous du niveau de l'eau. On a eu soin de composer le mortier de 1 de ciment de Portland pour 2 de chaux hydraulique de Bougival et 6 de sable, de sorte que le béton a pris très rapidement.

Pour élever les piles au-dessus de la fondation, on pouvait employer la cloche et maçonner sous l'eau. Mais on a craint de s'engager dans une trop forte dépense et de ne pas exécuter les travaux assez rapidement.

Caissons. — On s'est alors décidé à l'emploi de caissons; mais, comme le niveau de la Seine baisse considérablement en hiver au moment des glaces, nous avons cherché à diminuer le plus possible la partie du caisson devant rester dans l'eau et servir d'enceinte au béton.

Les caissons ont été formés d'une partie fixe de $1^{m}.40$ de hauteur et d'une partie mobile devant pouvoir se détacher facilement.

Les dessins joints à cette note (Pl. 7, *fig.* 1 à 6) rendent compte de la disposition adoptée.

Le caisson fixe, entièrement en chêne, a été formé de pièces d'un fort équarrissage bien assemblées. Le caisson mobile était en sapin et simplement cloué sur les moises supérieures du caisson fixe. Des queues verticales rendaient les deux caissons solidaires.

On a assemblé ces caissons sur la berge, puis on les a

lancés et on les a amenés sur les fondations dans une enceinte préparée à l'avance, à l'aide de quelques pieux réunis par des moises. Les caissons ont été ensuite échoués avec beaucoup de précision. On s'est servi de violes pour exercer une pression sur les moises supérieures de la partie mobile ; une fois les caissons en place on s'est hâté de les enrocher du pied ; puis on a coulé le béton avec des caisses.

Les échafauds établis autour des caissons ont servi à porter le plancher sur lequel se trouvaient le treuil et les ouvriers occupés à la manœuvre.

Le béton, d'abord composé de 2 de cailloux pour 1 de mortier, a été ensuite formé de 3 de cailloux pour 2 de mortier. Avec cette nouvelle composition il a mieux adhéré aux parois du caisson et les épuisements ont été plus faciles.

Épuisements. — On devait épuiser jusqu'à 1 mètre environ au-dessous de l'eau. Les caissons étaient à cet effet calfatés dans la partie supérieure.

On s'est servi dans la première pile de pompes Letestu ; mais dans les suivantes on a employé une pompe à vapeur.

Les filtrations ont été assez abondantes surtout dans les deux premières piles. Nous avons reconnu que l'eau venait du dessous et qu'elle suivait les parois intérieures du caisson entre le bois et le béton. La partie mobile en donnait très-peu.

Pour remédier à cet effet, nous avons fait jeter au pied des deux derniers caissons de la glaise corroyée. Mais, par suite de circonstances que nous allons indiquer, nous n'avons pas pu nous rendre compte du résultat de cette opération.

Dans le courant de décembre 1871 le froid s'est élevé subitement jusqu'à — 21 degrés. La Seine a pris rapidement dans l'espace d'une seule nuit. On s'est hâté de coucher le barrage de Bezons et le niveau de l'eau a baissé subitement, entraînant les glaçons qui avaient déjà acquis une épaisseur de $0^m.10$ à $0^m.15$. Mais la température s'est adoucie rapi-

dement et la glace a fondu lentement sans occasionner de débâcle. Le barrage est néanmoins resté couché assez longtemps, et nous avons pu profiter de cette baisse inattendue pour construire les maçonneries dans les caissons des piles 3 et 5 sans faire d'épuisements.

Cette baisse des eaux nous a fait comprendre l'importance qu'il y avait à fonder le plus bas possible. On conçoit que l'action des glaces sur les bois des caissons pourra exercer à la longue une influence destructive qui s'étendra plus tard au béton lui-même. Dans cette prévision, nous avons fait armer les arêtes des caissons fixes avec des cornières en fer.

Enlèvement des parties mobiles. — L'enlèvement des caissons mobiles a été très-facile. En deux ou trois heures on a pu débarrasser chaque fondation de la partie supérieure, et les bois provenant des caissons 1 et 2 ont servi dans la construction des caissons des piles 3 et 5. Ce mode de construction des caissons a l'avantage d'éviter les recépages sous l'eau. Il permet de construire solidement la partie de caisson qui doit rester dans l'eau et de n'employer que des bois de moindre valeur dans la partie supérieure.

Maçonneries. — Nous n'avons pas l'intention de donner des détails sur les maçonneries. Il nous suffira de dire qu'on y a employé le même mortier que dans le béton, et qu'on les a élevées, avant de démolir la partie mobile des caissons, jusqu'à 0m.20 au-dessus du niveau de l'eau.

Observations sur les pieux de fondation. — M. l'inspecteur général Kleitz a appelé sérieusement l'attention des ingénieurs sur les pieux de fondation. Il était à craindre que le renversement des piles ne provînt de la déviation de ces pieux. On pouvait surtout supposer que cet effet s'était produit dans la sixième pile déversée violemment lors de l'explosion de la culée rive droite. Un examen attentif des fondations nous a fait reconnaître que les pieux avaient conservé leur verticalité. Il n'a pas été possible de constater que leur

position ait varié d'une manière appréciable. Cela tient sans doute à ce que les maçonneries, qui n'avaient pas assez de consistance, ont obéi au mouvement de renversement, en se fendant et en se disloquant.

Évaluation des dépenses. — La dépense moyenne d'une des fondations que nous venons de décrire s'établit comme il suit :

	francs.
Enlèvement du plancher et des chapeaux à l'aide de la cloche ou de la drague.	1 756.50
Dérasement des enrochements à $0^m.50$ au-dessous de la tête des pieux avec la cloche. . .	3203.08
Aire en béton coulée sous la cloche.	5450.06
Caisson fixe en place.	3650.16
Caisson mobile en place.	1839.60
Béton coulé dans le caisson fixe.	3969.92
Épuisements.	923.40
Maçonneries.	1913.89
Enrochements et travaux divers.	569.65
Dépense totale par pile.	23276.26
Et pour les cinq piles.	116381.30

Résumé. — Tels sont les renseignements que nous avons cru utile de donner sur les fondations du pont de Bezons.

Aujourd'hui beaucoup de rivières navigables ont été canalisées à l'aide de barrages qui relèvent le niveau ancien de l'étiage de 2 et même de 3 mètres. Il devient, dès lors, plus difficile que par le passé de fonder les piles des ponts. D'un côté, la profondeur d'eau se trouve sensiblement augmentée, de l'autre, on est exposé aux effets d'une baisse subite ou d'une rupture des barrages au moment des glaces.

Il faut donc commencer les maçonneries le plus bas possible et éviter d'exposer les bois aux actions destructives que nous signalons. A défaut de fondations tubulaires, l'emploi simultané de la cloche à plongeur et des caissons peut résoudre la difficulté.

Pontoise, le 15 mars 1872.

Depuis l'envoi de la précédente note, nous avons eu occasion d'employer le système de caisson que nous avons décrit à une des piles du pont de Conflans.

Ce pont qui donne passage sur la Seine, à la route nationale n° 184, de Versailles à Pontoise, était suspendu et présentait trois travées : deux travées de rive de 36m.75 d'ouverture, et une travée centrale de 77m.10.

Au mois de septembre 1870, on a fait sauter la première pile, dont la chûte a déterminé celle de tout le tablier. L'administration a jugé nécessaire de racheter la concession de ce pont et de le reconstruire avec un tablier métallique fixe. Il est devenu dès lors nécessaire de fonder une pile au milieu de la rivière pour partager l'espace à franchir en quatre travées à peu près égales. La première pile devait elle-même être reprise depuis la base des maçonneries. C'est pour cette reconstruction que nous avons employé un caisson mixte.

Les deux piles du pont étaient fondées sur un cône d'enrochements mélangés de couches de béton et présentant une grande solidité. A la partie supérieure, on avait égalisé la surface avec du béton avant de commencer la maçonnerie. C'est sur cette plate-forme, qui se trouve aujourd'hui à 2m.85 au-dessous de la retenue d'Andrésy, que le caisson a été échoué. On a eu soin de remplir autour du caisson quelques excavations avec du béton, puis on a entouré les moises inférieures d'un corroi en argile. Le béton a été fait avec tout le soin possible ; on a même employé en première couche, immédiatement au-dessus de la plate-forme, du béton très-gras, composé de 1 de cailloux pour 1 de mortier, quinze jours environ après l'achèvement de la fondation en béton. On a essayé d'épuiser avec des moyens très-simples, et l'on a reconnu que l'enceinte était parfaitement étanche : aussi a-t-on pu élever la maçonnerie depuis une profondeur de 1m.10, au-dessous de la retenue sans presque aucun frais d'épuisement. Une petite pompe de ba-

teau qu'un ou deux hommes manœuvraient de temps en temps a suffi pour les travaux à sec. Nous attribuons ce bon résultat au calfatage soigné des deux caissons, fixe et mobile, à l'emploi de la glaise autour du caisson, et du béton gras dans la partie inférieure de la fondation en béton dont l'épaisseur totale n'était que de 1m.25.

Pontoise, le 10 juin 1872.

N° 14

Réparation des amarres du pont suspendu de Beauvoir, sur l'Isère.

Note par M. MARGOT, ingénieur des ponts et chaussées.

Il existe en France un assez grand nombre de ponts suspendus établis depuis un certain nombre d'années. Si nous concluons du particulier au général, nous sommes autorisé, par ce qui se passe sous nos yeux, à dire qu'il est devenu aujourd'hui indispensable et urgent de faire des réparations importantes à beaucoup de ces anciens ouvrages, notamment dans leurs amarres. Il est donc utile de faire connaître par des exemples comment ces réparations peuvent être exécutées et quel en est le coût. Telle est la pensée qui nous a conduit à rédiger la présente note.

Cette note renferme l'exposé des réparations qui ont été exécutées récemment à l'un des ponts placés sous notre contrôle, le pont de Beauvoir sur l'Isère. Elle n'apprendra rien de nouveau à beaucoup d'ingénieurs qui ont pu avoir à surveiller ou à faire exécuter des opérations du même genre : elle pourra même, nous le reconnaissons, sembler inutile aux personnes qui auront lu le très-intéressant mémoire de M. Noyon sur la restauration et la consolidation de la suspension du pont de la Roche-Bernard (*), mémoire dans lequel se trouve la description d'une opération semblable à celle que nous allons décrire et faite d'ailleurs dans des conditions beaucoup plus compliquées et plus difficiles.

(*) *Annales des ponts et chaussées*, 1859, 2e semestre.

Cependant la simplicité même des travaux exécutés au pont de Beauvoir, et le chiffre peu élevé des dépenses que ces travaux ont occasionnées, nous ont paru intéressantes à signaler. Nous avons cru utile en même temps de rédiger une note assez détaillée pour permettre aux personnes qui l'auront lue d'entreprendre une opération analogue à celle exécutée à Beauvoir, sans recourir à des ouvriers spéciaux, qui seraient aujourd'hui difficiles à trouver dans certaines contrées.

Nous diviserons ce qui suit en deux parties.

La première contiendra l'indication des réparations que nécessitait l'état du pont de Beauvoir et du système adopté pour ces réparations.

Dans la seconde, nous décrirons la machine qui a servi à faire les ligatures des fils, machine bien connue de tous les constructeurs, mais dont la description pourra être utile aux personnes qui n'auraient pas eu encore à s'occuper des questions relatives aux ponts en fil de fer.

§ Ier. — Indication des réparations à faire et système adopté pour leur exécution.

Le pont de Beauvoir a une ouverture de 99 mètres.

La suspension est formée de quatre câbles en fil de fer, deux à l'amont et deux à l'aval; le nombre total des brins composant ces quatre câbles est de 1 526. Chaque tige de suspension est fixée à la fois aux deux câbles placés du même côté qu'elle au moyen d'une ganse double.

Les câbles reposent sur quatre obélisques en pierres de taille par l'intermédiaire de rouleaux en fonte de 0m.40 de diamètre.

Les câbles de retenue, qui sont le prolongement, sans solution de continuité, des câbles de suspension, sont placés, à partir du point où ils pénètrent en terre, dans une petite galerie voûtée. A 2m.80 environ du point d'amarrage

cette galerie cesse d'être accessible, et elle finit par n'avoir plus à son extrémité inférieure qu'une hauteur de 0m.20. Les câbles traversent ces galeries étroites, et chacun d'eux se termine par une boucle enroulée sur une croupière en fonte, entre les branches de laquelle sont placés des coins en fer, s'appuyant par leurs deux extrémités contre la face inférieure de la pierre de taille qui termine la cheminée étroite dont il vient d'être parlé. On peut d'ailleurs accéder aux points d'amarrage par des puits verticaux indiqués sur la Pl. 7, *fig.* 7 et 8.

Toutes les parties des câbles de retenue situées en dessous du point où ces câbles pénètrent dans le sol ayant été reconnues en mauvais état, il a été jugé nécessaire de les remplacer. Voici comment ce remplacement a été opéré.

Chacune des quatre cheminées étroites formant un des points d'amarrage renfermait deux câbles enroulés chacun sur une croupière. A côté de ces croupières on en a placé une troisième, au moyen de laquelle on a reconstitué, brin par brin, la partie défectueuse de l'un des deux câbles de retenue. Puis la croupière de ce câble devenant libre, on s'est servi de cette croupière pour refaire la partie avariée du deuxième câble de retenue.

En opérant ainsi successivement dans chaque cheminée d'amarre, on est arrivé à refaire complétement les parties des huit câbles de retenue formant amarres.

Voici maintenant les détails de l'une de ces huit opérations.

Tout d'abord les deux croupières d'une même galerie d'amarre ne laissaient, ni entre elles, ni à côté d'elles, un espace libre suffisant pour la pose d'une troisième croupière. Cet espace a été obtenu en déplaçant latéralement les croupières et les câbles qui sont enroulés sur elles, au moyen de coins en fer chassés à coups de masse.

Cela fait, voici comment on opérait pour reconstituer l'un des câbles d'amarre sur la nouvelle croupière, que l'on

plaçait, ainsi qu'il a été dit plus haut, à côté de l'une des deux croupières anciennes.

On commençait par enlever toutes les ligatures dans la partie du câble à visiter et à réparer.

Un ouvrier coupait alors l'un des fils de ce câble. D'autre part un autre ouvrier prenait à la main l'extrémité terminée en boucle d'un fil neuf enroulé sur le dévidoir D (*fig.* 7), faisait passer cette extrémité sur une poulie P attachée aux câbles de retenue, et descendait dans la galerie d'amarre inclinée, tirant avec lui le fil neuf. Arrivé à l'extrémité inférieure de la partie accessible de la galerie, il faisait passer, au moyen d'un crochet, l'extrémité bouclée du nouveau fil à un ouvrier installé dans la chambre d'amarre O. Celui-ci plaçait ce fil sur la nouvelle croupière, et le repassait au précédent ouvrier, qui remontait ensuite, portant toujours avec lui l'extrémité du fil nouveau, jusqu'à ce qu'il arrivât au point où devait avoir lieu la jonction avec le fil ancien coupé : on procédait alors au raboutage des deux fils.

Pendant qu'étaient exécutées les opérations que nous venons de décrire, un second fil du câble à réparer avait été coupé. La tension de ce fil coupé était maintenue par un ouvrier agissant à l'extrémité *a* du levier L, levier auquel était attachée une corde liée par son autre extrémité à une mordache M qui saisissait le fil coupé au-dessus du point de section. En même temps le fil nouveau déjà ligaturé au premier fil coupé, était tendu au moyen du treuil T, et il ne restait plus qu'à relier ce fil nouveau avec le deuxième fil ancien coupé.

L'opération qui vient d'être décrite était alors recommencée pour deux autres fils, et ainsi de suite, jusqu'à complet épuisement de tous les fils de l'ancien câble.

Tous les fils anciens étaient coupés dans une même section transversale, un peu inférieure au point où devait se trouver la ligature la plus basse à faire pour le raboutage

des fils neufs avec les fils anciens. On choisissait ensuite sur les câbles de retenue les points de raboutage de chaque fil, en ayant soin de répartir ces points sur une longueur de 10 mètres environ.

Il est à peine nécessaire d'ajouter que les fils employés étaient revêtus de l'enduit préservateur ordinaire, et qui s'obtient par un mélange d'huile de lin, de litharge et de céruse, dont les proportions sont bien connues.

Aussitôt qu'un câble était terminé, on procédait à la confection des ligatures espacées de distance en distance, qui devaient serrer tous les brins les uns contre les autres. On remarquera sans doute que la partie du câble comprise dans la galerie inaccessible ne pouvait être ligaturée : c'est là un inconvénient auquel le système de construction adopté pour les galeries d'amarres ne permettait pas de remédier.

Dans les opérations de réfection des amarres du pont de la Roche-Bernard, M. Noyon a cherché à conserver aux fils restaurés la tension qu'ils subissaient primitivement, et qu'il obtenait par le calcul. A cet effet, des dynamomètres faisaient suite aux mordaches qui saisissaient les fils à tendre. Cette mesure n'a pu être appliquée à Beauvoir, les dynamomètres nécessaires n'ayant pu être obtenus en temps utile.

La reprise des huit câbles d'amarre du pont de Beauvoir a pu être faite sans apporter aucune entrave à la circulation : commencée le 23 août 1871, elle a été terminée le 14 octobre de la même année.

Le poids du fil de fer employé a été de 2 740 kilogrammes, qui, à raison de 60 francs les 100 kilogrammes, représentent une dépense de 1 644 francs.

Le chantier était composé de deux câbleurs, d'un manœuvre choisi et de trois manœuvres ordinaires. Les câbleurs étaient payés 6 francs par jour, le manœuvre choisi 2f.75, et les manœuvres ordinaires 2 francs. La dépense

en main d'œuvre s'est élevée à 950 francs (soit 0f.35 par kilogramme de fil de fer employé).

Quant au matériel très-simple employé pour les travaux, il a été fourni par les câbleurs, et n'a entraîné aucune dépense pour le concessionnaire.

En définitive, la dépense totale nécessitée par la réfection des amarres du pont de Beauvoir s'est élevée à 2 800 fr. en nombre rond, savoir :

	francs.
Frais d'acquisition de fils de fer.	1 644
Main-d'œuvre.	950
Frais divers.	206
Total.	2 800

§ II. — Description de la machine a faire les ligatures des fils.

La machine employée pour faire le raboutage de deux fils se compose d'un cylindre en acier C (*fig.* 9 et 10), auquel sont fixées deux branches *m* et *n* terminées par des disques percés d'un trou central. Entres ces disques peut être intercalée une bobine en bois cylindrique B, percée d'un trou dirigé suivant son axe. Une fiche en fer mobile K peut traverser à la fois les deux disques qui terminent les branches *m* et *n*, ainsi que la bobine en bois B, et servir d'axe de rotation à cette bobine. En retirant la fiche, on peut enlever la bobine B.

Le cylindre C porte une cannelure longitudinale *l*, et un certain nombre de dents *d*, toutes placées sur une même génératrice du cylindre.

Avant d'expliquer le fonctionnement de cet appareil, examinons comment se fait une ligature ordinaire à la main.

Une ligature à la main s'obtient par l'enroulement autour des deux fils à réunir d'un fil préalablement enroulé lui-même sur une bobine : la *fig.* 11, qui est une coupe per-

pendiculaire aux fils à réunir, indique en *a* et *b* la section des deux fils, en B la coupe de la bobine qui porte le fil; la flèche *f* indique le sens de l'enroulement du fil de ligature autour des fils *a* et *b*; la flèche F donne le sens de la révolution décrite autour du système des deux fils *a* et *b*, par la main qui tient la bobine B; et enfin la flèche φ donne le sens du mouvement de rotation que la bobine B doit prendre sur elle-même, pour que le fil de ligature se déroule sur cette bobine au fur et à mesure de son enroulement sur le faisceau des fils *a* et *b*.

Ceci rappelé, voici comment on opère quand on emploie l'appareil décrit plus haut.

On commence par faire à la main deux ou trois tours autour des fils *a* et *b*, comme s'il s'agissait de la ligature ordinaire à la main dont il vient d'être parlé, la bobine en bois B qui porte le fil n'étant pas encore adaptée à l'appareil. Cela fait, on applique la cannelure *l* du cylindre C (*fig.* 9 et 10), contre les fils *a* et *b*, ainsi que l'indique la coupe (*fig.* 12). On enroule alors le fil de ligature deux ou trois fois en spirale autour du cylindre C et des fils *a* et *b*, en faisant passer chaque spire du fil entre deux des dents *d*; puis on rattache la bobine B à l'appareil au moyen de la fiche en fer K. Ces opérations terminées, il ne reste plus, pour faire la ligature, qu'à donner alternativement avec les deux mains, à la bobine B, un mouvement de révolution autour du faisceau des deux fils *a* et *b*.

Dans ce mouvement de révolution, il ne faut faire aucun effort dans un sens parallèle à la direction des fils *a* et *b*, sous peine d'avoir ou des chevauchements de fil ou des écarts entre les diverses spires du fil de ligature. Le mouvement de progression de l'appareil, au fur et à mesure de la confection de la ligature, se produit automatiquement et a lieu dans le sens dans lequel ont été enroulées les deux ou trois spires qui enveloppent le cylindre C.

Si l'on compare les deux systèmes de ligature qui vien-

nent d'être décrits, on voit qu'ils diffèrent en ce que, dans le système à la machine, le fil de ligature est obligé de glisser sur le cylindre C : d'où un frottement qui diminue l'effort que la main tenant la bobine B doit faire pour empêcher la rotation trop rapide de cette bobine, et qui donne dès lors toutes facilités pour faire des ligatures extrêmement serrées. D'autre part, le mouvement de progression automatique de l'appareil permet d'obtenir des ligatures d'une parfaite régularité et à spires absolument jointives.

Il est utile d'observer que le cylindre C de la machine à faire les ligatures doit être en acier très-dur, faute de quoi il serait rapidement couvert de sillons profonds produits par l'incrustation du fil de ligature.

En terminant, nous ferons remarquer que le principe de la machine qui vient d'être décrite, et qui est destinée au raboutage des fils, pourrait être appliqué sans difficulté à la construction d'une machine analogue pour la confection des ligatures des câbles eux-mêmes.

Grenoble, le 11 mars 1872.

CHRONIQUE.

Avril 1872.

CHEMINS DE FER D'INTÉRÊT LOCAL ET VOIES DE TERRE.

Observations présentées au Conseil général de la Manche par M. Dufresne, inspecteur général des ponts et chaussées.

ANALYSE ET EXTRAITS.

M. Dufresne, membre du conseil général de la Manche, a récemment présenté à ses collègues, sur la question des chemins de fer d'intérêt local et des voies de terre, des observations qui empruntent une autorité spéciale à la situation de l'auteur, inspecteur général du contrôle de l'un de nos grands réseaux. Dans le département de la Manche comme dans beaucoup d'autres, les populations qui n'ont pas de chemins de fer en réclament, et le conseil général éprouve le désir bien naturel de hâter la réalisation de ce vœu universel. Mais dans quelle voie s'engage-t-on en votant, avec ou sans subvention, des chemins de fer d'intérêt local? Quel avenir financier est-on fondé à espérer sérieusement pour ces lignes nouvelles?

On peut discuter longtemps sans se mettre entièrement d'accord sur les recettes probables d'un chemin qui est encore à construire: c'est un champ largement ouvert aux conjectures et aux illusions. Mais pour qui ne demande qu'à s'éclairer approximativement sur le résultat final de l'exploitation future, il y a un travail plus simple et plus sûr à faire: c'est de consulter les faits aux-

quels ont abouti déjà des entreprises analogues. On n'en est plus à la naissance des chemins de fer d'intérêt local, et l'on a commencé naturellement par ceux qui paraissaient devoir être les meilleurs. Puis, tous ces embranchements qui ont été imposés aux grandes compagnies, ne sont-ce pas autant d'exemples utiles à méditer, en ayant égard à ce que les conditions de succès en étaient beaucoup plus favorables encore? Enfin si, parmi les lignes mêmes qui peuvent être considérées comme des artères indépendantes, il y en a qui végètent péniblement sous le fardeau de leurs frais de construction et d'exploitation, démontrant ainsi sans réplique que la locomotive n'est pas ici à sa place, et qu'on en a mal à propos invoqué le dispendieux concours pour satisfaire à des besoins qui ne le comportaient pas, si cette regrettable anomalie se rencontre même sur des lignes indépendantes, n'en peut-on rien conclure par analogie pour l'avenir des chemins de fer d'intérêt local?

C'est sur ce solide terrain que M. Dufresne a placé la discussion. Il a cherché et il a trouvé, disséminés dans toutes les parties de la France, des chemins de fer qui rapportent moins de 2, moins de 1 p. 100 des frais de construction, qui ne rapportent même rien du tout, et dont le budget s'est soldé par un déficit en 1868 ou 1869. L'auteur produit à ce sujet divers renseignements qu'il s'est directement procurés et trois tableaux dont il a déduit les chiffres de documents fournis par les compagnies au ministère des travaux publics. Nous allons reproduire textuellement les parties les plus importantes du travail.

« Déjà l'année dernière j'ai fait connaître au conseil « général que les embranchements de Montbéliard à Delle « et d'Andelot à Champagnole, sur le réseau de Lyon à la « Méditerranée, ainsi que l'embranchement de Lizon à « Saint-Lô, sur le réseau de l'Ouest, avaient donné par « kilomètre, en 1868, un déficit de 1 750 francs pour la « première ligne, de 3 600 francs pour la seconde et au « moins de 2 000 francs pour la troisième. D'autres exem- « ples ressortent des trois tableaux qui suivent; il parlent « plus haut que tout ce que je pourrais dire.

« Le premier comprend ceux des embranchements im- « posés aux grandes compagnies, pour lesquels les frais « d'exploitation ne sont pas couverts ou ne sont que cou-

« verts par le revenu brut. La 3e colonne fait connaître le « déficit annuel par kilomètre.

« Le deuxième comprend ceux de ces mêmes embran- « chements pour lesquels les revenus bruts dépassent « plus ou moins les frais d'exploitation. La 3e colonne « donne l'intérêt que représente cet excédant comparé aux « dépenses de construction.

« Enfin le troisième tableau fait connaître les lignes « elles-mêmes des différents réseaux dont le revenu est « inférieur à 2 p. 100 des sommes dépensées pour leur « construction.

PREMIER TABLEAU.

Embranchements dont le revenu brut ne couvre pas ou ne fait que couvrir les frais d'exploitation.

DÉSIGNATION des embranchements.	LONGUEUR en kilomètres.	DÉFICIT ANNUEL par kilomètre.
Ouest.	kilomètres.	francs.
Laigle à Conches	40	1595
Louviers à la ligne de Rouen	7	3847
Orléans.		
Auray à Napoléonville	51	4892
Lexos à Montauban	66	2663
Lyon-Méditerranée.		
Sergues à Carpentras	16	1600
Les Arcs à Draguignan	13	1600
Brioude à la Levade	62	1300
Midi.		
Langon à Bazas	20	1984
Perpignan à Port-Vendres	30	3020
Nord.		
Chantilly à Senlis	11	3695
Est.		
Flamboin à Montereau	28	»
Haguenau à Niederbronn	20	»
Sainte-Marie-aux-Mines à Schelestadt	21	769
Châtillon à Chaumont	43	2450

Nota. Ce tableau ne comprend pas les embranchements de Montbéliard à Delle, d'Andelot à Champagnole et de Lizon à Saint-Lô, parce que dans le travail du bureau de statistique ces embranchements n'ont pas été séparés des grandes lignes auxquelles ils se rattachent.

DEUXIÈME TABLEAU.

Embranchements dont le revenu couvre plus ou moins les frais d'exploitation.

DÉSIGNATION des embranchements.	LONGUEUR en kilomètres.	REVENU p. 100 des dépenses de construction.
Ouest.	kilomètres.	francs.
Beuzeville à Fécamp	20	0.63
Pont-l'Évêque à Trouville	11	0.25
Lyon-Méditerranée.		
La Roche à Auxerre	19	0.93
Livron à Privas	32	1.97
Rognac à Aix	25	1.43
Aubagne à Valdonne	17	0.27
Aix-les-Bains à Annecy	39	0.24
Avignon à Cavaillon	33	0.47
Saint-Étienne au Puy	86	0.48
Saint-Étienne (Saint-Just) à Montbrison	22	0.25
Saint-Germain-des-Fossés à Vichy	9	0.60
Midi.		
Agde à Lodève	57	0.27
Saint-Simon à Foix	70	1.01
Castelnaudary à Castres	55	0.71
Castres à Mazamet	19	0.87
Carmaux à Alby	15	1.68
Castres à Alby	47	1.06
Est.		
Gretz à Coulommiers	33	0.39
Longueville à Provins	7	0.61
Dieuze à Avricourt	22	0.22
Épinal à Remiremont	24	0.41
Lunéville à Saint-Dié	50	1.36
Strasbourg à Barr, Mutzig et Wasselonne	49	1.12

TROISIÈME TABLEAU.

Lignes dont le revenu est inférieur à 2 p. 100 des sommes dépensées pour leur construction.

DÉSIGNATION des lignes.	LONGUEUR en kilomètres.	REVENU p. 100 des dépenses de construction.
Ouest.	kilomètres.	francs.
Caen à Cherbourg	131	1 25
Lisieux à Honfleur	43	0.64
Rennes à Redon	70	1.00
Rennes à Saint-Malo	81	1.37
Rennes à Brest	249	1.22
Orléans.		
Brétigny à Tours par Vendôme	202	1.87
Nantes (Savenay) à Landerneau et à Napoléonville	350	0.49
Paris à Orsay et à Limours	43	1.03
Niversac à Capdenac	157	1.96
Montauban à Capdenac, à Rodez et à Decazeville	201	0.61
Toulouse à Lexos et Albi	106	1.27
Montluçon à Saint-Sulpice-Laurière et Fourneaux	137	1.40
Poitiers (St-Benoit) à Saint-Sulpice-Laurière	111	0.34
Nantes à Napoléon-Vendée	75	0.52
Angers (la Possonnière) à Niort par Bressuire	164	0.27
Lyon-Méditerranée.		
Bourg à Besançon	140	2.09
Roanne à Lyon par Tarare	76	0.54
Valence à Moirans	78	1.46
Grenoble à Francin	50	0.99
Nuits-sous-Ravières à Châtillon	35	1.20
Gray à Fraisans	44	0.71
Clermont à Brioude	70	1.49
Midi.		
Mont-de-Marsan à Tarbes	99	0.98
Bayonne à Irun	36	0.92
Dax à Ramoux	30	1.22
Agen à Vic-de-Bigorre	129	0.07
Nord.		
Boulogne à Calais	40	1.81
Amiens à Rouen	87	1.93
Est.		
Épernay à Reims	30	1.36
Troyes à Bar-sur-Seine	29	0.67

NOTA. — A ces lignes il faut ajouter celle d'Arvant au Lot, sur le réseau d'Orléans, d'une longueur de 171 kilomètres, qui donne un déficit annuel de 145 francs par kilomètre.

« Il résulte des tableaux qui précèdent, d'abord relati-
« vement aux embranchements qui sont de véritables che-
« mins d'intérêt local, qu'il y en a 14 qui ne couvrent pas
« leurs frais d'exploitation. Déjà nous en avons signalé 3 se
« trouvant dans le même cas; le nombre total est donc de 17.

« Que 16 de ces mêmes embranchements donnent moins
« de 1 p. 100 des capitaux employés à leur construction;
« que 7 donnent plus de 1 p. 100, mais moins de 2 p. 100,
« et que 2 seulement dépassent 1 1/2 p. 100.

« Enfin que, même parmi les lignes des grands réseaux,
« il y en a 13 dont le revenu, comparé à ce qu'ils ont coûté,
« est inférieur à 1 p. 100, 17 pour lesquels ce même re-
« venu est compris entre 1 et 2 p. 100, et qu'il y en a même
« une de 171 kilomètres qui ne donne que de la perte.

« Quand on considère que les tableaux qui précèdent
« s'appliquent à la France entière, au Nord comme au
« Midi, à l'Est comme à l'Ouest, les voies ferrées qu'ils
« comprennent sont, nous ne saurions trop le répéter,
« bien autrement importantes que les chemins de fer qui
« sont en ce moment l'objet d'un si regrettable engoue-
« ment, n'est-on pas en droit de conclure, avec une ri-
« gueur que rien ne saurait contredire, que de telles
« entreprises seraient dans presque tous les cas suivies
« d'amères déceptions? »

Dans une note particulière, M. Dufresne dit :

« En présence de ces faits, on se demande comment les
« grandes compagnies peuvent exister avec des pertes ainsi
« répétées sur une foule de points. Les grandes compa-
« gnies ne vivent que parce que chacune d'elles a un très-
« petit nombre de lignes, quelquefois une ou deux seu-
« lement, qui donnent des bénéfices énormes, lesquels
« permettent de combler tous les déficits et de distribuer
« encore des dividendes aux actionnaires. C'est ainsi que
« sur le réseau de Lyon-Méditerranée, la ligne de Paris

« à Marseille, d'une longueur de 872 kilomètres et ayant « coûté 654 millions, donne un produit net de 76 mil- « lions 14000 francs, pendant que le reste du réseau « présentant un parcours de 3075 kilomètres et ayant « coûté 1 milliard 707 millions 500000 francs, donne une « perte annuelle de 28 millions 147000 francs. C'est-à- « dire que c'est la ligne de Paris à Marseille qui soutient « tout le réseau et que sans elle la compagnie en serait « réduite à faire faillite.

« Cette circonstance, qui est la raison d'être des grandes « compagnies, puisqu'elle a permis de grouper autour de « quelques lignes exceptionnellement avantageuses un « grand nombre de chemins qui autrement auraient été « absolument impossibles, prouve clairement que bien « placés, c'est-à-dire pour de grandes distances et de « grands trafics, les chemins de fer sont des instruments « merveilleux, que mal placés, au contraire, ils ne peuvent « être que des instruments de ruine. »

Revenant au département de la Manche, l'auteur ajoute :

« Quelles circonstances exceptionnelles peut-on invo- « quer pour justifier l'établissement de la ligne de Carteret « à Carentan et de celle de la vallée de la Selune? Quel « est l'esprit assez optimiste pour admettre qu'elles don- « neront de meilleurs résultats que les lignes qui figurent « sur le tableau n° 1 et tout particulièrement, pour ne pas « sortir de la Normandie, que la ligne de Laigle à Conches « et que celle qui relie Louviers à Elbeuf et à Rouen? Toutes « deux donnent des pertes annuelles qui, pour la seconde, « atteignent 3017 francs par kilomètre. Et pourtant il s'a- « git ici de centres industriels d'une grande importance. « Chez nous il n'y a rien de semblable ; bien plus par sa « configuration géographique qui en fait une véritable « presqu'île, par son industrie qui est à peu près exclusi- « vement agricole, qui n'est par suite concentrée nulle

« part, qui possède d'ailleurs des moyens de transport « qu'elle devrait toujours conserver et qui suffisent pour « les petites distances, notre département est moins qu'un « autre appelé à créer utilement des voies ferrées.

« Mais on me dit, et par là on croit répondre à tout: Vos « exemples ne s'appliquent qu'aux grandes compagnies; « or, elles construisent très-chèrement, elles exploitent « plus chèrement encore. Il en sera tout autrement des « chemins de fer d'intérêt local.

« Si les grandes compagnies construisent chèrement, « c'est qu'elles n'admettent que de faibles pentes et des « courbes à grand rayon; c'est qu'elles font de bons tra- « vaux et surtout qu'elles les finissent complétement afin « de n'avoir plus à y revenir, ce qui est toujours fort « coûteux; si elles exploitent chèrement, c'est qu'elles ont « des trains nombreux marchant souvent à grande vitesse « et enfin qu'elles sont soumises, au point de vue de la sé- « curité des voyageurs, à des mesures très-complètes et « très-sévères. Il y a lieu de remarquer tout d'abord que « ces différentes circonstances sont de nature à augmenter « le trafic et que dès lors il doit y avoir compensation, « puisqu'il s'agit en définitive d'une question de revenu. « Mais voyons si les chemins de fer d'intérêt local admi- « nistrés économiquement, comme on dit, donnent réelle- « ment les résultats qu'on annonce.

« Examinons, par exemple, le chemin de Vitré à Fou- « gères, que la commission du conseil général a pris « elle-même pour point de comparaison. J'ignore où son « honorable rapporteur a puisé les renseignements qu'il « a insérés dans son travail, mais il faut que sa bonne foi « ait été surprise. J'ai sous les yeux le dernier compte- « rendu officiel présenté à l'Assemblée générale des ac- « tionnaires, et j'y vois, page 7, que le bénéfice net de la « ligne, en 1870, a été de 14475f.03, ce qui ne donne « que 391 francs par kilomètre. J'ajouterai que dans le

« calcul des dépenses, dont le détail se trouve à la page 24, « on n'a pas tenu compte de la double annuité relative « au renouvellement de la voie et à celui du matériel « roulant. Aujourd'hui tout est encore neuf; mais dans « quelques années il faudra commencer à remplacer ce « qui sera usé ; or pour la voie il faut compter au moins « 0f.25 par kilomètre et par train, ce qui, pour les 37 ki- « lomètres de la ligne, donne par an 730 francs. Pour le « matériel, je trouve toujours dans le compte rendu offi- « ciel (page 20) que ce matériel a coûté 214839f.83, soit « 5806 francs par kilomètre. L'expérience a appris qu'il « fallait compter un déchet annuel de 8 p. 100 ; ici cette « base sera trop faible, car le matériel de la compagnie « est surmené, parce qu'il est insuffisant, si bien qu'il a « fallu en louer pendant l'année, pour 9 801 francs (p. 24). « Nous admettrons cependant 8 p. 100 seulement, soit « 464 francs par kilomètre qui, ajoutés aux 730 francs de « la voie, donnent une annuité totale de 1 194 francs. On « arrive ainsi pour toute la ligne à une somme de 44 178 fr. « — La différence entre ce chiffre et celui de 14 475 francs « indiqué plus haut est de 29 703 francs. Ainsi, on voit que « c'est par un déficit d'à peu près 30 000 francs, et nulle- « ment par un bénéfice, que s'est soldé, en 1870, le compte « de la ligne de Vitré à Fougères.

« J'aurais très-vivement désiré avoir également des ren- « seignements précis sur les autres chemins d'intérêt local « actuellement exploités et notamment sur ceux du dépar- « tement de l'Eure et sur celui de Briouze à la Ferté-Macé, « dans l'Orne. Mais je n'ai pu obtenir rien de positif, et je « ne veux donner ici que des chiffres incontestables. Le « silence que l'on garde sur ces chemins, car jusqu'à ce « jour il n'a été publié aucun compte rendu, n'est pas de « bon augure, et il est de nature à justifier les impressions « de l'opinion publique, d'après laquelle ces chemins se- « raient loin de se trouver dans une situation favorable.

« Un seul d'entre eux passe pour marcher avec un succès « relatif, c'est celui de Pont-de-Larche à Gisors, dans « l'Eure. Mais il se trouve précisément dans une de ces « situations exceptionnelles auxquelles je faisais allusion en « commençant. Placé à la limite des départements de l'Eure « et de la Seine-Inférieure, il dessert la riche vallée de « l'Andelle qu'il met en communication avec la ligne de « Paris à Rouen. 26 grandes filatures de coton ou de laine, « dont une entre autres a coûté plus de 3 millions et qui, « dans leur ensemble, représentent près de 400 000 bro- « ches, les fonderies de cuivre de Romilly, la grande su- « crerie d'Étrépagny, des moulins à foulon et à blé, un « grand commerce de bois, enfin les produits d'une agri- « culture perfectionnée, tels sont les éléments de trafic « que l'on rencontre ici, et pourtant dans la pensée d'in- « génieurs bien placés pour savoir ce qui se passe sur ce « point, dans la pensée aussi d'industriels qui se servent « journellement de cette ligne, le produit brut ne ferait « guère que couvrir les frais d'exploitation. Quant aux au- « tres chemins du département de l'Eure, l'opinion pu- « blique est persuadée qu'ils ne font pas leurs frais.

« Ce qui se passe sur les chemins construits et exploités « par de petites associations n'est donc nullement de nature « à infirmer les conclusions auxquelles nous sommes ar- « rivés précédemment. »

Dans ces conditions, et quelle que soit la bourse qui paye, la création des chemins de fer d'intérêt local ne peut être en général, et sauf les circonstances exceptionnelles, qu'une opération regrettable. Mais les conseils généraux doivent particulièrement réfléchir avant de l'encourager par des subventions auxquelles les intéressés ne participeraient en rien, car cette participation est la véritable pierre de touche de la confiance plus ou moins sincère qu'on manifeste dans l'avenir d'une voie nouvelle. A supposer que les deux lignes de Carteret à Carentan et de la Selune s'exécutent, et que l'entreprise exige une subvention kilométrique de 37 500 francs, M. Dufresne voudrait que le département limitât tout au moins sa part à 20 500 francs, et qu'on mît à l'épreuve les

parties intéressées en leur demandant le surplus. Accepter la charge entière d'une dépense qui doit exclusivement profiter à deux groupes de cantons, c'est oublier la situation besogneuse dans laquelle le département se trouve au triple point de vue des routes départementales, des chemins vicinaux et des chemins ruraux. Cependant ces voies plus modestes ont un intérêt bien autrement sérieux pour l'ensemble des contribuables. — Telle est la seconde considération que développe M. Dufresne. Bien qu'il s'agisse particulièrement ici du département de la Manche, on en pourra reconnaître plus d'un autre dans ce tableau d'une réalité si éloquente.

« Nos routes départementales sont tellement compro« mises faute d'entretien, qu'il n'y a nulle exagération à « dire qu'elles sont sur le point de périr. On est arrivé à « réduire l'épaisseur moyenne de la chaussée à 0m.075, et « par conséquent à appauvrir le capital de premier établis« sement d'une valeur d'environ 3 millions de francs. Ce « déficit s'accroît chaque année de 100 000 francs.

« Venons maintenant aux chemins vicinaux.

« Sur les lignes d'intérêt commun déjà classées, il reste « à construire 48 805 mètres, lesquels, d'après les projets « régulièrement rédigés coûteront 610 447 fr.,

	francs.
« ci.	610 447
« Dans la dernière session, beaucoup de « membres du conseil, se faisant les interprètes « de leurs cantons, ont demandé de nombreux « classements. Tout ce qu'il sera utile de con« struire n'a pas été compris dans ces deman« des, et il est certain que nous verrons sur« gir de nouveaux vœux ; mais enfin ce qui « est réclamé dès à présent, représente, en « nombre rond, une longueur de 500 000 mè« tres, lesquels, à 5 francs le mètre, chiffre « certainement fort modeste, exigeront une « dépense de 2 500 000 francs, ci.	2 500 000
« Total.	3 110 447

« Passant aux chemins vicinaux ordinaires, nous trou-
« vons que le réseau subventionné présente un dévelop-
« pement de 1 136 052 mètres, lesquels coûteront 3f.35 le
« mètre courant, évaluation bien faible, mais enfin que
« nous accepterons au lieu de celle de 5 francs générale-
« ment admise, parce que quelques-uns de ces chemins
« ont déjà été ouverts sur quelques points. Même avec

	francs.
« cette base restreinte, il s'agit ici d'une « dépense de 3 805 774f.20, ci.	3 805 774.20
« La longueur du réseau non subven- « tionné est approximativement de 374 528 « mètres, lesquels, à raison de 3f.35, comme « tout à l'heure, exigeront une dépense de « 1 254 668f.80 ci.	1 254 668.80
Total. . . .	5 060 443.00
« De ce chiffre, il faut retrancher la sub- « vention de l'État qui sera de 312 000 fr., ci.	312 000.00
« Reste. . . .	4 748 443.00

« Nous arrivons enfin aux chemins ruraux, dont la mise
« en état sera pour l'agriculture le plus grand des bien-
« faits. Je trouve parmi les documents fournis au conseil
« général par M. le préfet de la Manche, en 1868, le rap-
« port rédigé par M. le duc d'Albuféra, député et président
« pour les départements normands de l'enquête agricole
« qui fut faite en 1866. Dans la partie de ce rapport rela-
« tive au département de la Manche, après s'être occupé
« des chemins autres que les voies rurales, M. d'Albuféra
« arrive à ces dernières, et il s'exprime ainsi page 33 :
« Quant aux chemins ruraux et d'exploitation, ils sont
« dans un état déplorable et pour la plupart impraticables ;
« ce mauvais état des chemins ruraux enlève au cultiva-
« teur, dans une très-grande mesure, le bienfait des amé-
« liorations des autres voies de communication.
« De plus les empiétements se produisent sur une large

« échelle ; aussi la commission d'enquête, d'accord avec « les questionnaires, réclame-t-elle avec instance le prompt « achèvement des chemins vicinaux et une loi sur les che- « mins ruraux. Ces derniers, dans le département de la « Manche, ont une longueur totale de 14 000 kilomètres et « leur restauration, évaluée à 1 franc le mètre courant par « M. l'agent-voyer en chef, coûterait alors 14 millions. »

	francs.
« En résumé, routes départementales. . . .	3 000 000
« Chemins vicinaux d'intérêt commun. . .	3 610 447
« Chemins vicinaux ordinaires.	4 748 443
« Chemins ruraux.	14 000 000
« Total.	25 358 890

« Ainsi, pour ne faire que donner satisfaction aux be- « soins les plus impérieux de ses communications, le « département de la Manche se trouve dans la nécessité « absolue d'entreprendre dès à présent une série de tra- « vaux s'élevant à plus de 25 millions. Et c'est en « présence d'une telle situation que l'on ose proposer de « construire des chemins de fer. D'un côté, il s'agit de voies « de communication qui répandront partout l'aisance et la « vie, qui donneront à l'agriculture, la véritable industrie « de notre pays, un développement d'autant plus grand « qu'il s'appliquera à la communauté tout entière ; de voies « de communication qui atteindront jusqu'à la moindre « ferme et qui, répondant ainsi à toutes les exigences d'une « bonne justice distributive, créeront sur toute la surface « du département une véritable richesse ; de voies de com- « munication enfin dont l'urgente nécessité est reconnue « par tout le monde, par tout le monde absolument. De « l'autre côté, au contraire, il s'agit d'entreprises qui ne « donneraient satisfaction qu'à des localités tout à fait « restreintes, qui pourtant épuiseraient toutes nos ressour- « ces et qui, laissant ainsi le reste du département en souf-

« france, ne tiendraient aucun compte de la justice distri-
« butive dont je parlais tout à l'heure; d'entreprises pour
« lesquelles rien ne presse, car, nous ne saurions trop le
« répéter, elles n'intéressent que des localités tout à fait
« restreintes, et ce que les départements voisins peuvent
« faire ou ne pas faire à cet égard est pour nous chose
« complétement indifférente; d'entreprises enfin que toutes
« les personnes qui se sont occupées de chemins de fer
« regardent comme déplorables et au sujet desquelles les
« plus hardis restent certainement dans le doute.

« Comment dans une telle alternative pourrait-on balan-
« cer? Si jamais des voies ferrées d'intérêt local sont pos-
« sibles dans notre département, c'est seulement lorsque
« les chemins, grands et petits, qui doivent exclusivement
« nous préoccuper aujourd'hui, auront développé sa ri-
« chesse. En même temps qu'ils auront créé des produits,
« ces chemins seront les affluents qui les apporteront aux
« voies ferrées. Laissons donc celles-ci au moins pour le
« moment; appliquons toutes nos ressources à nos voies
« de terre, et tout d'abord donnons-leur les 4 millions
« que le conseil général paraît disposé à emprunter. Pen-
« dant que nous ferons ces utiles travaux, nous verrons
« ce qui se passera chez nos voisins, et nous profiterons
« de leur expérience soit pour nous abstenir, soit pour
« les imiter, parce qu'alors le moment d'agir sera venu
« pour nous.

« Je crois que la sagesse la plus vulgaire veut que nous
« adoptions cette marche. En suivre une autre ce serait
« mettre la charrue avant les bœufs; ce serait, comme
« dans la fable, lâcher la proie pour l'ombre; en un mot,
« ce serait tout à la fois violer les règles du bon sens et
« sacrifier les plus chers intérêts du département. »

E. M.

PORTEUR UNIVERSEL DE M. CORBIN.

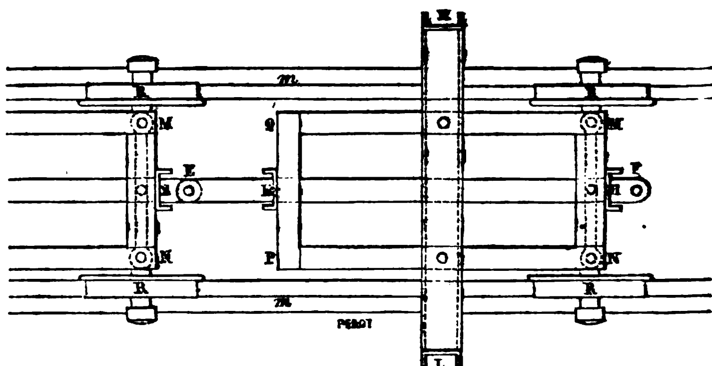
Note par M. DEBAUVE, ingénieur des ponts et chaussées.

Les journaux ont annoncé un nouveau mode de transport, auquel son inventeur, M. Corbin, donne le nom de porteur universel.

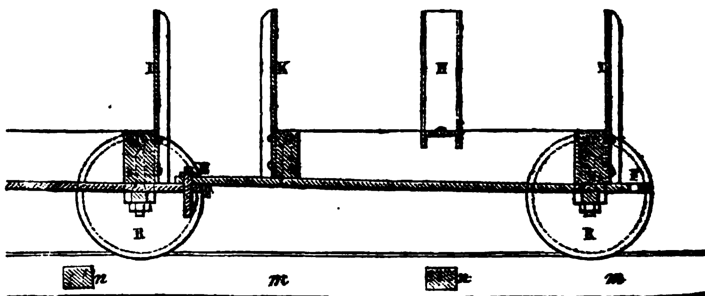
Nous avons eu l'occasion de le voir fonctionner, et il nous a paru que cet appareil pouvait rendre quelques services dans les travaux publics.

Le porteur universel se compose (*fig.* 1, 2 et 3) de deux parties principales : la voie et le véhicule.

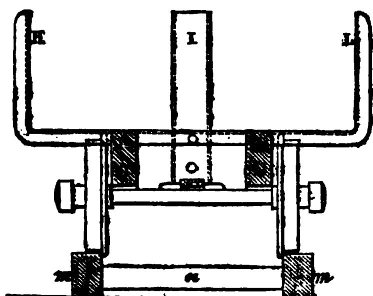
PLAN. — *Fig.* 1.



COUPE LONGITUDINALE. — *Fig.* 2.



COUPE EN TRAVERS. — *Fig.* 3.



La voie ne peut mieux se comparer qu'à une série d'échelles que l'on placerait sur le sol les unes à la suite des autres : (m,m) sont les montants, (n,n) les échelons. Sur la face supérieure, les montants sont, sur la moitié de leur largeur, recouverts d'un fer plat, fixé au moyen de vis à tête noyée ; et c'est sur ce fer que reposent les roues du véhicule.

Deux échelles voisines s'assemblent à mi-bois au moyen d'une cheville horizontale autour de laquelle elles peuvent tourner afin de pouvoir s'appliquer facilement sur un sol à pentes inégales.

Il existe des parties courbes afin d'obtenir les changements de direction.

Le véhicule élémentaire se compose d'un châssis en bois MNPQ, supporté par une seule paire de roues RR, placée à une extrémité du châssis ; les roues sont en fonte, à mentonnet, à essieu fixe avec boîtes à graisse très-simples. L'unique paire de roues est placée à un bout du châssis : sous ce châssis passe une barre d'attelage EF en fer plat, qui à chaque bout porte un œil ; l'extrémité E d'un véhicule repose sur l'extrémité F du véhicule précédent, et ces deux extrémités sont réunies par un goujon vertical, autour duquel les barres d'attelage peuvent tourner. Il va sans dire que le wagon de tête est fixé par son extrémité antérieure au moyen d'un goujon vertical, à un essieu directeur porté sur deux roues semblables aux précédentes : ce wagon de tête est donc seul porté sur quatre roues.

Ce système articulé peut passer dans toutes les courbes, et sur des pentes irrégulières ; il représente le principal mérite de l'invention.

Sur le châssis on fixe transversalement une pièce horizontale recourbée verticalement à ses extrémités H et L ; on voit deux autres montants verticaux en K et en L. C'est entre ces quatre branches verticales que l'on place soit les caisses, soit les corbeilles, destinées à recevoir les objets à transporter.

Le porteur universel est donc facile à établir partout, soit en plein champ, soit sur les accotements des chemins. Ses principau

avantages sont: 1° économie des frais de transport et de main-d'œuvre au départ et à l'arrivée; 2° facilité de passer partout où un homme peut circuler avec une brouette; 3° possibilité de traîner une charge variable en augmentant ou diminuant le nombre des véhicules.

Le moteur peut être soit un homme, soit un cheval; la traction par cheval a l'inconvénient de se faire obliquement, bien que les traits de l'attelage aient une grande longueur relativement à la largeur de la voie; la traction par l'homme est plus régulière, et le renversement des véhicules est moins à craindre.

Le porteur universel que nous avons vu fonctionner servait à amener à une sucrerie les betteraves arrachées dans les champs : les betteraves sont jetées dans les corbeilles, que l'on enlève à l'arrivée.

On sait qu'à l'automne, sur un terrain humide et argileux, les transports de l'agriculture sont coûteux et difficiles; avec le porteur universel, la besogne est de beaucoup simplifiée, les supports de la voie ayant une certaine largeur, et les véhicules étant du reste d'un faible poids, la charge transmise au sol est assez faible pour qu'on n'ait point d'enfoncement à craindre.

On pourrait sans doute appliquer ce système aux terrassements et remplacer avec avantage la brouette, le camion, peut-être même le tombereau par le porteur universel. Sur les grands chantiers de construction, le transport des briques, des moellons, du mortier, du béton, pourrait peut-être devenir en bien des cas plus facile et plus économique en employant le système que nous venons de décrire.

La voie que nous avons examinée est trop étroite; elle n'a que $0^m.25$: le centre de gravité des véhicules chargés se trouve trop élevé, et il arrive assez souvent qu'un train tout entier se renverse. Une voie de $0^m.40$ nous paraît devoir être dans de meilleures conditions.

Les échelles qui forment la voie ont 5 à 6 mètres de longueur sur un terrain peu accidenté, et 3 à 4 mètres lorsque les changements de pente sont fréquents; elles pèsent $3^k.5$ par mètre courant. Chaque véhicule peut recevoir une charge de 50 à 100 kilogrammes. Le prix de la voie est de $2^f.50$ le mètre courant, et le prix des véhicules est d'environ 300 francs les 1 000 kilogrammes.

L'importance du chargement total d'un train peut varier de 500 à 10 000 kilogrammes.

En terrain horizontal, un manœuvre suffit pour traîner un poids d'une tonne à une tonne et demie.

BIBLIOGRAPHIE.

Quelques mots sur l'instruction publique en France; par M. Michel Bréal, professeur au collége de France. — Librairie Hachette, 1872, 2ᵉ édition. — Prix : 3 fr. 50 c. E. M.

N° 15

MÉMOIRE HISTORIQUE ET TECHNIQUE

Sur les travaux d'endiguement et de colmatage de la rive gauche du Var.

Par M. VIGAN, ingénieur des ponts et chaussées.

PRÉLIMINAIRES

HISTORIQUE.

I.— *Historique succinct des tentatives faites et des travaux exécutés pour la défense de la rive gauche du Var jusqu'en 1844.*

Le Var paraît avoir éprouvé, à une époque peu éloignée de la nôtre, une variation de régime semblable à celle que l'on a signalée sur plusieurs autres fleuves de France et que l'on a, presque d'un commun accord, attribuée au déboisement des montagnes.

Des plans dressés au siècle dernier représentent en effet ce fleuve coulant, dans la partie basse de son cours, entre deux rives relativement peu distantes formées par des dépôts d'alluvion; et, à mesure que l'on consulte des documents de plus en plus récents, on voit les rives s'éloigner l'une de l'autre, le lit s'élargir.

On sent, rien qu'à comparer ces divers plans, qu'il avait dû se produire dans la vallée des perturbations dans les conditions primitives et qu'il s'élaborait de nouvelles formes d'équilibre.

Il ne faut pas, il est vrai, en rapporter seulement la

cause à ce qui s'est passé dans la région montagneuse; les riverains eux-mêmes n'ont pas peu contribué à amener un bouleversement complet dans le profil du lit.

Car en même temps qu'on déboisait en haut, ils déboisaient aussi en bas; ils ameublissaient le sol compacte des forêts séculaires, comme pour en faciliter l'entraînement à la mer.

Ces imprudentes pratiques avaient déjà attiré l'attention de l'autorité locale, et le sénat de la ville de Nice avait interdit sous des peines sévères tout défrichement à l'ouest d'un chemin parallèle au Var, qui emprunta à cette affectation spéciale le nom de chemin de la *Ligne de démarcation* ou plus simplement de chemin de la *Ligne* (*) (Pl. 8, *fig.* 1).

Mais les ordonnances du sénat tombèrent en désuétude lors de l'occupation française, à la fin du siècle dernier.

La forêt de la *Réserve* (on appelait ainsi les terrains boisés *réservés* pour la défense à l'ouest du chemin de la ligne) éprouva de notables réductions à la suite de nouveaux défrichements.

On alla même jusqu'à en raser une partie dans le voisinage de la mer, pour construire économiquement un pont en bois entre les deux rives du Var, près du village de Saint-Laurent.

Au dire des gens du pays, ce serait de cette époque que dateraient les désastres qui ont affligé à diverses reprises les propriétaires riverains.

Quelle que soit, des deux causes que nous venons de signaler, celle que l'on doive regarder comme prédominante, il n'en est pas moins vrai que le Var corrodait de plus en plus ses rives et menaçait d'emporter en quelques années les fertiles alluvions qui les bordent et le magnifique delta de l'embouchure.

(*) Une partie de ce chemin (3 kilomètres environ) se trouve aujourd'hui incorporée à la route nationale n° 205 de Nice à Barcelonnette.

Les possesseurs de ces terrains semblaient condamnés à l'impuissance; ils assistaient à chaque crue à de nouvelles avaries et reculaient devant le fleuve; les dépenses considérables auxquelles il eût fallu se résoudre pour l'arrêter, étaient au-dessus de leur moyens.

Un événement diplomatique fit entrer la question dans une voie nouvelle. Nous voulons parler du traité du 27 août 1825, conclu entre la France et la Sardaigne; il déterminait deux lignes dites *latérales*, situées à 500 mètres l'une de l'autre et que les parties contractantes se donnaient mutuellement la faculté de suivre pour les travaux de défense à exécuter sur chaque rive.

« Cette clause, en permettant de conquérir et de féconder au moyen des eaux limoneuses du Var une étendue considérable de terrains, devait éveiller l'attention des spéculateurs sur la rive niçoise. En effet, une première compagnie de capitalistes gênois sollicita l'autorisation d'établir une digue depuis la paroisse rurale de Saint-Sauveur jusqu'à la mer. Mais des intrigues locales qui répondaient aux intérêts de quelques personnages alors influents, firent rejeter cette demande et une autre de même nature qui avait été présentée par des propriétaires niçois.

« Un règlement émané de l'intendance générale de Nice, du 1er janvier 1829, avait institué un *consortium* (syndicat) des propriétaires riverains qui fut représenté par une députation de cinq membres d'abord, de neuf ensuite. Mais les attributions qui lui furent dévolues ne purent donner satisfaction au sentiment public; on réclama contre l'injuste sacrifice des intérêts du plus grand nombre à ceux de quelques particuliers, et le gouvernement sarde fut amené à ordonner les études d'un endiguement.

« Treize plans furent présentés; celui de M. Gardon, ingénieur en chef de la province de Nice, fut préféré.

« Le roi de Sardaigne l'approuva en 1837 et en ordonna « l'exécution en dix ans, sous la direction d'un ingénieur « de l'État.

« Mais on écarta systématiquement les divers spécula- « teurs qui demandèrent la concession des travaux.

« Parmi ceux-ci, M. Fleuriet, ingénieur français, agissant « au nom de M. le comte de Morangiès, mit une grande in- « sistance dans cette poursuite; et il allait se retirer de- « vant les refus obstinés qu'on lui opposait, lorsque « M. Alexis de Jussieu, ancien préfet de l'Ain, sous les « yeux de qui M. Fleuriet avait exécuté des travaux d'en- « diguement sur les bords de la Saône, crut pouvoir vaincre « les difficultés qui avaient jusqu'alors empêché la con- « cession de l'endiguement du Var, en se servant du crédit « de M. le comte de Budé, ancien ami d'enfance du roi « Charles-Albert. C'est en effet ce qui eut lieu. » (Rapport de la commission administrative du 14 août 1860.)

La concession fut accordée en 1844 à MM. de Jussieu et Boisset.

Nous n'avons à mentionner comme travaux exécutés avant cette époque, pour la défense des terrains de la rive gauche, que des tunages ou digues composées de couches alternatives de fascines et de graviers consolidées par des piquets et des pieux.

C'est à cela que se borna l'œuvre du consortium organisé en 1829. La moitié des dépenses était prélevée sur les intéressés, dans la même forme que pour les syndicats; l'autre moitié était payée par la ville de Nice.

Ce sont ces travaux que, sous le nom de *défenses provisoires*, les divers concessionnaires de l'endiguement et le gouvernement français ont eu à entretenir et à compléter jusqu'à l'achèvement de la digue définitive.

Comme ils n'offrent qu'un intérêt secondaire au point de vue technique, nous n'y reviendrons plus dans la suite.

II. — *Faits intervenus entre l'année 1844, où fut concédé l'endiguement de la rive gauche et l'année 1860, où le comté de Nice fut annexé à la France.*

Concession faite au profit de MM. Boisset et de Jussieu.

MM. Boisset et de Jussieu présentèrent, le 30 janvier et le 20 mars 1844, deux soumissions par lesquelles ils s'engageaient à construire le long de la rive gauche une digue continue, en se conformant aux dispositions du projet dressé par M. Gardon, à la condition qu'il leur serait accordé, comme *correspectif*, pour nous servir de l'expression employée dans les textes originaux :

1° La concession en toute propriété à leur profit de tous les terrains en friche ou non, appartenant à la ville de Nice, *communaux* ou de *réserve*, existant le long de l'endiguement et le long du rivage de la mer entre le Var et la pointe de Carras ;

2° L'abandon de tous les terrains en gravier de propriété publique à gagner par suite de l'établissement de la digue, la reconnaissance des limites de ce gravier devant être faite aussitôt après l'approbation de leur soumission, contradictoirement avec les parties intéressées ;

3° La cession gratuite des carrières de Roche-Abeil et de Baus-Roux près de Saint-Martin, pour l'extraction des pierres nécessaires à l'enrochement ;

4° Une subvention de 540 000 francs payable en cinq annuités de 108 000 francs chacune, tant par la caisse provinciale que par la commune de Nice et les autres communes intéressées, et enfin par le consortium.

La dernière soumission stipulait que les travaux seraient commencés six mois après l'approbation de l'administration, et seraient terminés dans une période de cinq ans.

Ces propositions, agréées par les divers intéressés, furent sanctionnées par l'ordonnance du 23 mai 1844, émanée du roi Charles-Albert.

Il fut institué par cette ordonnance deux commissions spéciales.

L'une, dite *commission administrative*, chargée, sous l'inspection du ministre de l'intérieur et des finances, de veiller à l'exécution du contrat, d'autoriser les payements, de pourvoir en un mot à toutes les nécessités et événements de nature purement administrative, était composée comme il suit :

L'intendant général de la province de Nice, président; le premier consul de la ville de Nice et un conseiller municipal, élu par le conseil;

Le président du consortium du Var et un membre du consortium choisi par cette association;

L'ingénieur en chef du district et l'ingénieur Gardon, auteur du projet.

La seconde commission, dite *délégation spéciale*, représentait le pouvoir royal avec toutes les attributions qu'il avait dans les États sardes avant 1848.

Elle décidait et tranchait sans appel toutes les contestations qui pouvaient surgir tant en matière civile qu'en matière administrative.

Elle était ainsi composée :

Le premier président du sénat de Nice;

L'avocat général près le même sénat;

L'intendant général de Nice;

Deux sénateurs.

Le 29 juillet 1844, un contrat définitif fut passé entre la commission administrative, d'un côté, les sieurs Boisset et de Jussieu de l'autre; il fut approuvé par patentes royales du 14 août de la même année.

Ces derniers se trouvèrent dès lors définitivement concessionnaires de l'endiguement de la rive gauche du Var. Le 11 février 1845 ils mirent la main à l'œuvre; l'inauguration des travaux se fit avec grande pompe.

Gestion de MM. Boisset et de Jussieu.

La gestion de MM. Boisset et de Jussieu fut de courte durée.

Dès le commencement des travaux ils manquèrent des fonds nécessaires et ils durent s'adjoindre M. Villain-Moisnel, ancien avoué, propriétaire à Paris; le 28 avril 1845, la société concessionnaire prit, avec l'autorisation du roi, le nom de société Boisset, de Jussieu et Villain-Moisnel.

Mais un an s'était à peine écoulé que de graves dissentiments éclatèrent entre le nouveau venu et les premiers concessionnaires.

Une transaction intervint le 1er septembre 1848 par-devant la commission administrative.

MM. Boisset et de Jussieu firent abandon de leurs droits à M. Villain-Moisnel aux conditions suivantes :

Il serait réservé à M. Boïsset une superficie de 80 septérées(*) de terrain derrière la digue; à M. de Jussieu la petite maison dite le Châlet qu'il avait fait construire lui-même près de la route de France, avec une étendue de terrain de 8 septérées autour dudit châlet.

M. Villain-Moisnel payerait à M. de Jussieu, pendant dix ans à partir du 27 mai 1846, une redevance annuelle de 1 000 francs. Il verserait à la fin de décembre 1853, dans les mains du consul de France à Nice, pour être comptée à M. de Jussieu, une somme de 24 500 francs. Il éteindrait une dette de 2 500 francs contractée par M. de Jussieu auprès de M. Latil, marchand à Nice. Enfin, il payerait comptant au même de Jussieu, en compensation de tous les autres intérêts que ce dernier pouvait avoir dans l'entreprise, une somme de 4000 francs.

La commission administrative accepta cette substitution et déclara reconnaître M. Villain-Moisnel comme seul concessionnaire de l'entreprise.

(*) La septérée du pays équivaut à 1 544 mètres quarrés.

Gestion de M. Villain-Moisnel.

La gestion de M. Villain-Moisnel peut se diviser en deux périodes, celle des travaux et celle des procès. La première s'arrête au milieu de 1851; la seconde au 16 février 1857.

Le premier acte du nouveau concessionnaire fut de demander à la commission administrative l'autorisation de contracter un emprunt dont il fixa le chiffre à 300 000 francs d'abord, puis à 1 500 000 francs.

La commission administrative redoutant de nouveaux embarras n'osa pas s'y opposer. Elle chercha seulement à soustraire autant qu'elle le put la direction des travaux à M. Villain-Moisnel qu'elle regardait comme peu capable de les conduire et lui imposa un entrepreneur de son choix.

La maison Schmidt, de Francfort, négocia l'emprunt; M. Villain-Moisnel présenta en garantie tout ce qui dépendait de la concession.

Les travaux n'en marchèrent pas mieux. Les difficultés s'aggravaient chaque jour.

Les choses en vinrent à ce point que M. Schmidt arrêta l'émission des obligations et limita le prêt à la somme de 585 000 francs déjà versée.

Les travaux furent suspendus et les procès commencèrent.

Le 12 janvier 1853, un arrêt de la cour des comptes de Turin autorisa la commission administrative à faire procéder d'office par la voie des enchères à la reprise et à l'achèvement de la digue aux frais et risques de M. Villain-Moisnel.

Par un autre arrêt, le même tribunal ordonna la rédaction d'un nouveau projet pour la mise aux enchères de l'achèvement de la digue.

Les enchères furent désertes.

C'est alors qu'intervint un arrêt définitif de la cour des comptes, en date du 16 février 1857, prononçant la résolu-

tion du contrat du 29 juillet 1844 et substituant la commission administrative à tous droits et raisons tant actifs que passifs de l'entreprise, lui laissant la faculté d'en disposer, selon qu'elle l'entendrait, moyennant paiement à leur juste prix de tous les *travaux utiles* et eu égard au temps où ils avaient été exécutés, avec intérêts à partir de cette époque, selon qu'il serait certifié et liquidé, sauf déduction en capital et en intérêts des sommes provenant de l'emprunt Schmidt, de la subvention du consortium et de toutes autres sommes qui seraient actuellement et légitimement dues aux fournisseurs et ouvriers de l'entreprise, lesquelles resteraient à la charge de la commission royale administrative, comme sous déduction du prix reçu par M. Villain-Moisnel des terrains conquis et déjà vendus par lui avec les intérêts depuis le jour de la réception du prix, selon qu'il serait établi par une liquidation d'experts à nommer par la cour.

Gestion de la commission administrative.

Cette gestion ne comprend qu'une période d'études et d'expertises.

La commission administrative voulut, avant toutes choses, se rendre compte de la véritable situation de l'entreprise et des sommes nécessaires pour la mener à bonne fin.

Elle n'eut pas de peine à reconnaître que la dépense restant à faire ne serait pas compensée par la valeur des terrains de la concession.

Elle provoqua alors entre les gouvernements français et sarde, des négociations dans le but d'augmenter la largeur de la zône à conquérir, en réduisant d'autant le lit du fleuve.

L'expérience avait prouvé que la largeur de 500 mètres réservée entre les deux latérales par le traité de 1825 était

excessive et qu'on pourrait sans inconvénient la réduire de près de moitié.

Sur les instances de la commission administrative, une conférence fut ouverte entre les ingénieurs de la province de Nice et ceux du département du Var.

D'un commun accord, les ingénieurs italiens et français adoptèrent les bases suivantes :

1° La largeur du lit entre les latérales serait fixée à 300 mètres au lieu de 500.

2° La latérale française ne serait modifiée que d'une manière insensible.

3° La latérale sarde serait reportée en avant dans le fleuve, à 300 mètres de la latérale française.

4° En compensation de la cession de terrain faite par la France, la Sardaigne donnerait une somme de 150.000 francs à titre de concours pour l'exécution des travaux de défense de la rive droite.

Le 2 décembre 1859, M. Diana, ingénieur en chef de la province de Nice, présenta un projet pour la construction de la digue dans ces nouvelles conditions et pour la répartition des dépenses entre les intéressés.

Mais le conseil supérieur des travaux publics de Sardaigne ne donna pas son approbation au projet de M. Diana. Il prescrivit d'y apporter de notables changements.

Pendant que les ingénieurs étudiaient les projets, MM. Bella, Davicini et Rossi, experts désignés par la cour des comptes pour régler le montant des travaux utiles exécutés par M. Villain-Moisnel, procédaient à leurs longues et minutieuses opérations.

Un arrêt du 1er juillet 1857 de la cour des comptes avait déclaré que la mise en possession de la commission administrative n'aurait lieu qu'après la clôture du rapport des experts.

Or, ce rapport n'avait pas encore été déposé en juin 1860, au moment de l'annexion.

La commission administrative se trouva dissoute avant d'avoir pu reprendre sérieusement les travaux.

III. — *Reprise et achèvement des travaux par le gouvernement français.*

Une œuvre si importante, et dans une situation si critique, ne pouvait manquer d'attirer, dès le jour même de l'annexion, l'attention et la bienveillance du gouvernement français.

L'empereur Napoléon III, après s'être fait rendre compte, à Nice même, des conditions de l'entreprise, donna aux populations l'assurance qu'elle serait promptement menée à bonne fin.

Cette promesse permit enfin aux Niçois d'entrevoir un terme à tant de péripéties.

Le décret du 18 août 1860 déclara d'utilité publique la continuation des travaux, arrêta que les dépenses en seraient prélevées sur les fonds de la navigation, et réserva les droits des tiers en ce qui touchait les travaux exécutés.

L'administration prit le soin d'expliquer, dès cette époque, que le gouvernement français entendait se substituer purement et simplement à la commission administrative, substituée elle-même aux concessionnaires pour la poursuite de l'entreprise dans les termes des actes antérieurs (*).

Un premier projet, montant à 580 000 francs (**), fut approuvé le 9 novembre 1860 pour l'achèvement de la

(*) Il a été définitivement procédé à la liquidation des sommes dues à l'ancien concessionnaire Villain-Moisnel par l'État français, par suite de cette substitution, par deux arrêts du conseil d'État du 11 août 1868 et du 29 juin 1869. (Voir 2e partie, chap. VIII.)

		francs.
(**)	Travaux à l'entreprise.	564 320.28
	Somme à valoir.	15 679.72
		580 000.00

partie de l'endiguement déjà commencée sous le régime sarde, c'est-à-dire celle comprise entre Baus-Roux et le vallon de Comba, d'une longueur de 11450 mètres; la même décision autorisa la reprise immédiate des travaux, en attendant que le projet fût adjugé.

Il fut dépensé de la sorte, du mois de novembre 1860 au 27 avril 1861, une somme de 209 324f.78.

L'adjudication des travaux restant à faire eut lieu au bénéfice du sieur Delucca le 27 avril 1861, moyennant un rabais de 5f.60 p. 100.

On eut à enregistrer, dans cette première période, une augmentation sur les prévisions du projet.

Le décompte général des travaux, depuis leur reprise, fut arrêté à 877 075f.94, dont 597 451f.47 à l'entreprise, 30 121f.98, sur la somme à valoir, et 249 502f.49 par soumissions.

Un second projet beaucoup plus important pour la continuation des travaux entre le vallon de Comba et la mer, sur une longueur de 11 634 mètres, fut approuvé le 27 novembre 1861. Le montant des travaux projetés était de 4 400 000 francs (*).

Le 30 décembre 1861, l'entreprise fut adjugée à MM. Sarlin et Rabattu, avec un rabais de 2f.10 p. 100.

Ils la partagèrent immédiatement entre divers tâcherons avec lesquels ils eurent des difficultés sans nombre, très-préjudiciables à la marche régulière des travaux.

Il semblait que la mauvaise fortune s'acharnât contre l'œuvre de l'endiguement, et que l'on revînt aux mauvais jours.

Après des tergiversations de toute sorte et d'incessantes mutations de tâcherons, MM. Sarlin et Rabattu demandè-

---

		francs.
(*)	Travaux à l'entreprise.	4050092.10
	Somme à valoir.	349907.90
		4400000.00

rent la résiliation de leur marché et abandonnèrent les chantiers.

Une régie fut immédiatement organisée. Les formalités de la mise en demeure et de la reconnaissance d'un matériel considérable vinrent encore s'ajouter à tous les incidents antérieurs, et apporter un nouveau retard à l'achèvement des travaux.

Mais à partir du jour où la régie put fonctionner, le travail fut mené avec vigueur et ne s'arrêta plus de trois ans; le 5 juillet 1869, après vingt-cinq ans d'épreuves, l'œuvre de l'endiguement atteignit enfin son terme.

L'exécution de cette seconde section donna une économie de 400 000 francs sur les prévisions du projet.

Pendant que se poursuivaient les travaux par la voie de la régie, le procès intenté à l'administration par les entrepreneurs s'instruisait devant le conseil de préfecture.

Le 2 avril 1868, intervint un arrêté du conseil qui rejeta la demande en résiliation, valida l'organisation de la régie, et chargea deux experts de l'examen des réclamations élevées par l'entreprise sur le décompte des travaux.

Le 2 février 1870, un second arrêté, statuant sur le rapport des experts, mit à la charge de l'État une somme de 110 000 francs environ.

Un pourvoi a été formé devant le conseil d'État, contre le premier arrêt par les entrepreneurs, et contre le second à la fois par les entrepreneurs et par l'administration.

PREMIÈRE PARTIE.

Projets et travaux.

CHAPITRE PREMIER.

I. — PROJETS DRESSÉS PAR LES INGÉNIEURS ITALIENS.

1° *Digue principale.* — Dans le projet dressé par M. l'ingénieur en chef Gardon, et soumissionné par MM. Boisset et de Jussieu, la hauteur de la digue était de 4m.50 au-dessus de l'étiage, soit 1m.50 au-dessus du niveau admis pour les plus hautes eaux (Pl. 9, *fig.* 10).

La largeur au couronnement était de 7 mètres; les talus avaient été supposés à 45 degrés; on ne s'explique pas, disons-le en passant, qu'on ait pu concevoir la possibilité de faire tenir les terres sous cette inclinaison.

Le talus postérieur devait être recouvert d'une couche de terre végétale de 0m.30 d'épaisseur, humectée et bien battue, à la superficie de laquelle on sèmerait de la graine de différentes herbes propres à la gazonner en peu de temps.

Le talus antérieur était supposé formé simplement de gravier, auquel on mélangerait cependant, autant que possible, du sable et du limon.

Au pied du talus antérieur était projeté un fossé creusé à une profondeur minima de 1 mètre au-dessous de l'étiage, et présentant 1m.50 de largeur à la base.

Ce fossé devait être rempli de blocs formant un enrochement qui s'élèverait jusqu'à la hauteur du couronnement de la digue. Il y aurait 8 mètres cubes d'enrochements par mètre courant de digue; six seraient placés contre le talus et deux en approvisionnement sur la plate-forme.

On avait arrêté comme il suit la proportion des blocs de diverse grosseur :

Un cinquième de 1 mètre cube et au-dessus; deux cinquièmes de 1 à 1/2 mètre cube, un autre cinquième de 1/2 à 1/4 de mètre cube; le dernier cinquième de 1/4 à 1/8 de mètre cube. Il était prescrit que leur ensemble serait arrimé avec soin de manière à ne laisser subsister que le moins de vides possible.

Le volume des blocs serait constaté par tels moyens qu'il plairait à l'administration de choisir,

Le transport des blocs et autres matériaux devait s'effectuer au moyen d'un chemin de fer établi sur la digue.

Les wagons chargés descendraient par le seul effet de la gravité, les pentes de la vallée n'étant que par exception inférieures à 0m.005 pour 1 mètre.

On n'aurait à effectuer de traction que pour remonter les wagons vides.

Sur les petits vallons qui se jettent dans le Var, on devait construire des ponts d'une seule arche de 14 mètres d'ouverture avec voûtes en briques.

Pour introduire et répandre les eaux troubles du Var sur les terrains conquis, on avait projeté sous la digue des *prises d'eau* en pierre de taille de 0m.60 d'ouverture.

Dès le commencement de l'exécution, quelques-unes de ces dispositions durent être abandonnées.

Sur la proposition de M. Villain-Moisnel, le talus du côté de la rivière fut protégé par un perré posé à sec, de 0m.50 d'épaisseur. Celui du côté des terres se plaça de lui-même par le tassement à l'inclinaison naturelle de 1 1/2 de base pour 1 de hauteur (Pl. 9, *fig.* 11).

L'ouverture des ponts fut mise en rapport avec le régime de chaque affluent.

2° *Digues des affluents.* — Les affluents devaient être endigués seulement sur la rive gauche. La digue unique de chacun d'eux consistait, d'après le projet, en un remblai soutenu du côté du lit par un mur en maçonnerie ordinaire fondé sur pilotis.

Le devis prévoyait pour les pilotis 4 mètres de fiche, pour la hauteur de la digue au-dessus de l'étiage 2 mètres, et pour sa largeur au couronnement 2 mètres, dont 0m.60 pour le mur et 1m.40 pour les remblais.

En cours d'exécution on ne s'en tint nullement à ce profil, et nous verrons ci-après les modifications qu'on lui fit subir, tant sous l'administration sarde que sous l'administration française.

3° *Levées de colmatage.* — Ces levées devaient être construites en gravier, avec une hauteur de 2 mètres, et une largeur de 1 mètre au couronnement; dans chacune d'elles, près de la digue principale, serait ménagée une ouverture munie d'une vanne en bois.

Une levée semblable devait longer la limite des terrains concédés et empêcher l'inondation des propriétés particulières.

Ces dispositions ont été aussi modifiées par la suite. La largeur au couronnement a été réduite; la hauteur a été arrêtée dans chaque cas particulier suivant une règle que nous expliquerons plus tard.

Il a été reconnu qu'une seule ouverture dans chaque levée était insuffisante.

On en a établi deux, trois, et même quelquefois quatre.

Aux vannes on a substitué des poutrelles (Pl. 9, *fig.* 18, 19).

Montant du projet. — La dépense du projet de M. l'ingénieur Gardon avait été évaluée à 1 300 000 francs seulement. On verra combien ce chiffre a été dépassé par la suite.

Cette estimation erronée fut peut-être, par les déceptions qu'elle engendra, la principale des causes qui amenèrent dès les premiers temps des travaux le désarroi des concessionnaires.

II. — TRAVAUX EXÉCUTÉS PAR LES INGÉNIEURS ITALIENS.

1° *Digue principale.* — La digue principale fut laissée par les ingénieurs italiens à différents degrés d'avancement entre son origine à Baus-Roux et le vallon des Termes où commence la commune de Nice, soit sur une longueur de 11 kilomètres environ.

La largeur des remblais en couronne variait entre 3 mètres et 7m.20 ; leur hauteur moyenne était de 4m.30 au-dessus de l'étiage.

Le talus extérieur était perreyé à sec sur 0m.50 d'épaisseur jusqu'à une hauteur de 3m.50.

Le perré était défendu par un massif d'enrochements de profil variable suivant que la position était plus ou moins exposée aux affouillements du fleuve.

La voie ferrée pour le transport des matériaux avait été posée, sur toute la longueur de digue commencée, à peu près au milieu du couronnement.

Des gares d'évitement espacées moyennement de 2 kilomètres permettaient la facile circulation des trains.

Dans le corps de la digue, il avait été construit 25 ouvrages d'art, dont 12 ponts et ponceaux d'un débouché variable entre 28 et 2 mètres pour donner passage aux affluents de la rive gauche et 13 prises d'eau à une ou deux ouvertures, les unes de 0m.60 les autres de 1 mètre (*).

2° *Digues des affluents.* — Le vallon d'Abeil avait été endigué sur la rive gauche au moyen d'une levée en gravier, un peu moins haute que la digue principale et protégée par un perré.

(*) Nous n'avons pas reproduit pour les prises d'eau les anciens types abandonnés. La Pl. 9 (*fig.* 1 à 4) représente le dernier modèle adopté de 1864 à 1869. Quant aux ponts, la superstructure n'offre rien de particulier, et les fondations sont les mêmes que celles des prises d'eau. De plus, leurs abords sont parfaitement définis dans les *fig.* 1, 4, 7 de la Pl. 10. Aussi avons-nous jugé inutile d'en donner un type spécial.

Au vallon d'Ibac, il n'avait été fait aucun travail. Le projet italien supposait que les eaux en seraient détournées dans le vallon de Recastron.

La rive gauche seule de ce dernier vallon avait été endiguée par un mur en maçonnerie.

Le vallon de Luonas avait été endigué de la même manière.

L'endiguement du vallon de Garda, exécuté sur la rive gauche seulement, consistait en une levée en terre perreyée.

Le vallon de Ruinascura avait été endigué sur la rive gauche. Mais une crue du Var passa par-dessus ces ouvrages et les renversa.

La rive gauche du vallon du Baumet avait été endiguée au moyen d'un mur en maçonnerie sur pilotis.

L'endiguement du vallon de Capella n'avait pas été commencé.

Le vallon de l'Amourier avait été endigué sur sa rive gauche par un mur en pierres sèches à paroi inclinée.

Il n'avait été fait aucun travail d'endiguement au vallon de Conso.

Le vallon de Roguet avait été endigué sur la rive gauche au moyen d'un mur en maçonnerie ; et enfin le vallon de Piboulas avait été endigué de la même façon, avec cette seule différence que la digue était en gravier et défendue par un perré.

3° *Levées de colmatage et aplanissement des bassins.* — La presque totalité des levées de colmatage avait été construite sur les terrains abrités par la digue principale. Leur espacement moyen était de 100 mètres, conformément aux dispositions du projet primitif.

Elles étaient traversées à leurs extrémités par deux pertuis et l'on en ajoutait entre ces deux-là tel nombre qui était nécessaire pour que l'espacement de deux pertuis consécutifs ne s'éloignât pas notablement de 200 à 250 mètres.

L'introduction de l'eau dans les bassins était précédée d'un nivellement général du sol ; on dérasait les parties saillantes pour remplir les creux et les dépressions.

Des 180 hectares déjà conquis par M. Villain-Moisnel, 62 avaient été préparés de cette façon.

Les experts évaluèrent le nivellement à 680 francs par hectare, chiffre qui représente en effet très-exactement le montant de ce travail.

C'était donc déjà une dépense de 42 000 francs absorbée par une opération des plus inutiles, comme nous aurons occasion de le montrer postérieurement (*).

Montant des travaux. — D'après l'arrêt du conseil d'État du 11 août 1868 intervenu sur l'expertise faite par MM. Bella, Davicini et Rossi, le montant des travaux exécutés par M. Villain-Moisnel ou à son compte par la commission administrative, y compris la fourniture du matériel, est de 1 605 438f,46 + 39 238f.67 = 1 644 677f.13.

(*) La seule raison valable que l'on ait donnée à l'appui du nivellement préalable des bassins, c'est que cette opération est de nature à réduire la durée du colmatage.

Cela est incontestable, et l'on peut même dire que l'on retrouve dans cette réduction une bonne partie des avances faites pour le nivellement, sans pourtant qu'il y ait compensation.

On verra en effet, par la suite de ce mémoire, que le temps *théoriquement* nécessaire pour le colmatage des terrains de la rive gauche du Var, en supposant le fonctionnement continu des prises d'eau et le nivellement parfait du sol, est de quatre ans, mais que pour tenir compte des conditions où l'on opère en réalité, il faut ajouter à cette durée moitié en sus. (Voir pages 377 et 378.)

Le défaut de nivellement préalable des bassins ne saurait donc à lui seul être regardé comme retardant la mise en valeur des terrains de plus de deux ans.

L'intérêt pendant deux ans du prix de l'hectare, estimé en moyenne à 6 000 francs au plus, est de 600 francs.

Le nivellement des bassins coûte 680 francs par hectare. Il y a donc encore bénéfice à ne pas niveler ; et cela est surtout vrai aujourd'hui pour l'État, qui n'a pas, pour aller vite, les raisons que pouvaient avoir les premiers concessionnaires.

CHAPITRE II.

I. — PROJETS DRESSÉS PAR LES INGÉNIEURS FRANÇAIS.

Premier projet. — Un premier projet fut dressé en 1860 pour l'achèvement de la portion de digue commencée par les Sardes, c'est-à-dire des 11 450 premiers mètres.

Plusieurs détails en furent modifiés en cours d'exécution.

1° *Digue principale.* — La hauteur de la digue principale fut conservée, comme au projet de M. Gardon, à 4^{m}.50 au-dessus de l'étiage. On maintint également à 7 mètres la largeur du couronnement sur toute la partie que devait emprunter la voie charretière.

Les talus furent projetés avec les modifications déjà introduites par M. Villain-Moisnel, celui du côté des terres à 1 1/2 de base pour 1 de hauteur, celui du côté de la rivière à 45 degrés avec revêtement à sec de 0^{m}.50 d'épaisseur.

Le cube de l'enrochement fut réduit à 4 mètres cubes par mètre courant. Le volume des blocs fut fixé entre un maximum de 1 mètre cube et un minimum de 0^{mc}.20. Il devait être déterminé au moyen d'un pesage direct à la bascule en divisant les poids trouvés par le nombre 2 660, considéré comme représentant en kilogrammes le poids d'un mètre cube.

Le chemin de fer placé au milieu de la digue devait être reporté vers le fleuve, de manière à laisser une distance de 1 mètre seulement entre l'arête du perré et le rail voisin.

Le projet comprenait l'achèvement des ponts et prises d'eau construits sous la digue.

2° *Digues des affluents.* — L'expérience avait prouvé que l'endiguement borné à la seule rive d'aval exposait les bassins d'amont aux ravinements des eaux et aux envahissements des graviers lors des crues des torrents.

Les avaries survenues en plusieurs endroits avaient aussi démontré l'insuffisance de la hauteur adoptée pour la digue unique de chaque affluent.

On résolut donc d'endiguer les deux rives, de porter la hauteur des digues à 4 mètres sur la partie horizontale à construire dans l'ancien lit du Var, et, lorsqu'il serait nécessaire de les prolonger vers l'amont dans le lit des torrents pour les raccorder avec les berges naturelles, de les tenir parallèles à ce lit (*) avec la hauteur jugée convenable pour donner écoulement aux plus fortes crues.

Chaque digue était formée d'un remblai en gravier soutenu par un mur en maçonnerie avec parement extérieur incliné au cinquième.

La largeur du couronnement était 1^{m}.50.

Il fut fait exception seulement pour les digues de droite des vallons de Luonas, Baumet et Roguet destinées à servir de chemins, et pour lesquelles il fut prévu une largeur de 4 mètres.

Ce système d'endiguement est représenté sur la Pl. 10 (*fig.* 1 à 3).

Le pertuis qui traverse la digue d'amont avait pour destination de donner écoulement aux eaux claires après le colmatage ; celui situé sous la digue d'aval, de permettre l'introduction des eaux troubles dans les bassins, concurremment avec les prises d'eau établies sous la digue principale.

3° *Levées de colmatage et aplanissement des bassins.* — Le projet sur ce point ne différait des projets sardes que par une réduction de 0^{m}.20 dans la largeur des levées en

(*) La pente des torrents à l'amont des confluents naturels varie entre un maximum de 0^{m}.052 et un minimum de 0^{m}.016. Le maximum 0.052 s'applique au torrent de Piboulas; le minimum 0.016 au torrent de Luonas.

Aux vallons de Roguet et de l'Amourier, la pente du lit naturel est de 0.044; aux torrents d'Ibac et de Baumet, de 0^{m}.027; au torrent de Garda, de 0^{m}.021, etc...

couronne et par l'adjonction à chaque pertuis d'une ouverture destinée à faciliter le lancement des eaux de colmatage dans diverses directions, et plus tard l'arrosage des terrains colmatés (Pl. 9, *fig.* 20 et 21). On a renoncé par la suite à cette complication inutile et nous n'en parlons que pour mémoire.

Deuxième projet. — Un second projet fut dressé en 1861 pour la continuation des travaux entre le vallon de Comba et la mer sur une longueur de 11 634 mètres.

Division des travaux projetés en trois parties. — La nécessité d'une exécution rapide présida à la rédaction de ce projet.

L'empereur avait témoigné le désir que les travaux fussent terminés en deux ans.

Il était impossible d'atteindre ce résultat en s'en tenant à l'organisation antérieure des chantiers.

On résolut de mener de front trois avancements, et l'on divisa le projet en trois parties.

La première, comprise entre le vallon de Comba et le vallon de Manda, d'une longueur de 2.755 mètres, devait s'alimenter aux anciennes carrières de Baus-Roux.

La deuxième, comprise entre le vallon de Manda et la digue des Français, d'une longueur de 6 732 mètres, emprunterait ses matériaux aux carrières de la Gaude, situées sur la rive droite du Var, au moyen d'un pont de service de 500 mètres de longueur.

La troisième, comprise entre la digue des Français et la mer, d'une longueur de 2 147 mètres, serait perreyée et enrochée en blocs artificiels, aucune carrière n'existant dans le voisinage.

La tête du second chantier devait être protégée par la digue de la rive droite du vallon de Manda que l'on perreyerait du côté amont et que l'on convertirait de la sorte en un véritable épi,

Le troisième chantier se trouvait déjà défendu par la

digue des Français, ancienne levée construite sous le premier empire; on n'eut qu'à la prolonger jusqu'à la digue principale.

Le pont de service à jeter sur le Var se composait de 80 travées de 6 mètres d'ouverture : chaque palée était formée de trois pieux couronnés par un chapeau. Un quatrième pieu isolé à 2 mètres à l'amont la protégeait contre le choc des corps flottants.

Le tablier, placé à 2ᵐ.35 au-dessus de l'étiage avait 4 mètres de largeur dont 1ᵐ.50 pour la voie, 0ᵐ.85 pour l'accotement d'amont et 1ᵐ.65 pour celui d'aval. Il était supporté par trois cours de longrines correspondant aux files de pieux. Le platelage était cloué sur ces longrines. La voie, en rails Brunel, contribuait à la solidité du pont en agissant à la façon d'une longue entretoise.

On avait réuni les trois pieux de chaque palée par des planches jointives pour empêcher que les bois flottés ne s'engageassent dans les charpentes et n'occasionnassent en s'y accumulant des affouillements et des dégradations.

Tous les bois qui entraient dans la composition de cet ouvrage étaient en sapin du pays (*).

1° *Digue principale.* — On avait calculé, au moyen des formules d'hydraulique, la hauteur que les crues du Var atteindraient dans le nouveau lit rétréci à 300 mètres; on avait trouvé 4 mètres et ajoutant 1 mètre de revanche, on avait proposé de placer le couronnement de la digue à 5 mètres au-dessus de l'étiage (Pl. 9, *fig.* 12 et 16).

Le raccordement de cette hauteur avec celle de 4ᵐ.50, donnée à la digue par les Sardes devait se faire sur une

---

(*) Ce pont coûta 100 000 francs environ.

Construit en 1862, il dépérit promptement, et dès 1864 il fut l'objet de réparations majeures; un grand nombre de poutres et de pieux étaient déjà pourris. Le mal alla toujours en empirant les années suivantes. En 1869, à la fin des travaux, il avait été dépensé pour l'entretien de cet ouvrage presque autant qu'il avait coûté.

longueur de 2 785^{m}.80 correspondant à peu près à la première partie du projet.

A son extrémité près de la mer, le couronnement avait été abaissé à 4^{m}.13 et la réduction s'opérait graduellement sur une longueur de 887^{m}.83.

Sur les deux premières parties, le profil en travers fut conservé, à la hauteur près, identique à celui de la portion de digue déjà exécutée. Le cube des enrochements fut porté à 5 mètres par mètre courant, et le chiffre adopté pour le poids du mètre cube fut de 2 700 kilogrammes au lieu de 2 660 kilogrammes.

Ces dispositions subirent quelques changements pendant le cours des travaux.

En rapportant le couronnement de la digue au niveau moyen des graviers, ou mieux à un plan situé à 0^{m}.80 au-dessous, on s'aperçut que les étiages adoptés précédemment dans les projets sardes et dans les projets français présentaient un écart notable. L'étiage français se trouvait à 0^{m}.65 en contre-haut de l'étiage sarde.

Cette différence fut confirmée par d'autres observations, particulièrement par l'examen des hauteurs qu'atteignaient les crues aux nombreuses échelles placées le long de la digue.

D'un autre côté, l'étude des crues, la comparaison du nouveau régime avec celui qui existait antérieurement montrèrent que, dans les limites où il avait été opéré, le rétrécissement du lit n'élevait pas sensiblement le niveau des hautes eaux. (Voir page 393.)

La grande crue du 21 octobre 1864 dont la hauteur atteignit les deux tiers de celle de 1841, la plus forte de toutes celles survenues de mémoire d'homme, fournit sur ce sujet de précieux renseignements, et ils ont été confirmés depuis par la crue non moins forte du 3 octobre 1868.

Nous ne saurions entrer ici dans le détail de ces diverses questions ; elles n'ont d'intérêt que par la conclu-

sion à laquelle elles ont conduit, à savoir que l'on pouvait sans inconvénient réduire de 1m.15 la hauteur de la digue. On se borna, pour se donner une certaine latitude, à une réduction de 0m.85.

Et même, pour parer à toutes les éventualités et pour permettre de remédier immédiatement sans avoir rien à détruire de ce qui serait déjà construit, aux inconvénients imprévus que l'expérience pourrait faire découvrir à cette réduction de hauteur, on ménagea du côté du fleuve un élargissement de 0m.40 destiné à recevoir au besoin un parapet (*).

L'abaissement fut appliqué sur les 5 338 derniers mètres de la seconde partie.

Au nombre des modifications apportées au projet des deux premières parties, nous devons encore citer la substitution d'un perré maçonné de 0m.35 d'épaisseur au perré en pierres sèches. Elle fut motivée par la difficulté que l'on éprouvait à trouver en quantité suffisante dans les carrières des moellons de 0m.50 de queue.

Sur la troisième partie, en matériaux artificiels, le profil-type comprenait un perré en moellons de béton de 0m.40 d'épaisseur, 1m.20 de longueur et 0m.60 de largeur posés à sec et un enrochement en blocs de béton de 0m.50 d'épaisseur, 1m.50 de longueur et 0m.80 de largeur.

Plusieurs moellons ayant été écornés en cours d'exécution, on rejointoya en mortier toute la surface du perré.

Les blocs d'enrochement furent placés par groupes de

(*) En même temps qu'on abaissa la digue, on projeta de réduire sa largeur entre la digue des Français et le raccordement avec la route nationale n° 205 à 3m.50.

L'adjonction d'un supplément de 0m.40 pour le parapet porte la nouvelle largeur à 3m.90 (Pl. 9, *fig.* 14 et 15).

Pour la même raison, la largeur de la voie ferrée, entre le vallon de Lingostière et le raccordement avec la route nationale, fut portée de 3m.40 à 3m.80. Le nouveau profil-type qui en est résulté ne diffère pas assez du profil général représenté par la *fig.* 13 de la Pl. 9 pour que nous ayons cru opportun de le dessiner.

sept sur trois rangs parallèlement à la digue. Le premier et le deuxième rang étaient formés par trois blocs : le troisième, le plus écarté de la digue, par un seul bloc.

Entre deux groupes contigus, on avait ménagé un intervalle de $0^{m}.20$ pour faciliter le glissement des blocs à la suite des affouillements. (Pl. 9, *fig.* 16 et 17.)

Nous proposerions, si nous étions de nouveau appelé à diriger des travaux semblables, de substituer aux blocs massifs des blocs creux qui, une fois enfouis dans les graviers, rempliraient le même office que les blocs massifs, tout en présentant par rapport à ces derniers une réduction dans la quantité de béton employé.

2° *Digues des affluents.* — Les endiguements des affluents furent projetés d'abord sur les mêmes bases que ceux précédemment exécutés.

Mais à peine eut-on mis la main à l'œuvre qu'on en reconnut l'insuffisance.

On ne se proposa pas seulement de remédier au mal présent en prévenant les effets nuisibles des crues du fleuve principal et des affluents par des digues d'un relief en rapport avec le niveau que prennent ces divers cours d'eau.

On partit de cette hypothèse, que l'expérience confirme chaque jour de plus en plus, qu'à l'amont de chacun des ponts de décharge formant le confluent artificiel des torrents dans le Var, il s'établirait un lit très-penté semblable à celui qui existait à l'amont du confluent naturel avant l'exécution des travaux. (Voir page 394.)

Les nivellements effectués à l'amont des confluents naturels montrèrent que pour la plupart des vallons restant à endiguer, cette pente était voisine de $0^{m}.027$ p. 1 mètre.

On décida par conséquent que pour éviter l'encombrement du lit par les graviers, on établirait de prime abord le plafond suivant la pente de 0.027. Quant au couronnement, on le tiendrait horizontal à partir de la grande digue jusqu'au point où sa hauteur au-dessus du plafond

se trouverait réduite à celle qui convient à l'encaissement des eaux du torrent en temps de crue. A partir de là, on le prolongerait vers la montagne avec la même pente que le plafond.

Mais ces idées n'étaient applicables qu'aux affluents de faible longueur, nous voulons dire à ceux qui rejoignaient la digue principale à peu de distance des côteaux.

Pour les longs affluents, elles auraient conduit à des terrassements gigantesques qui auraient coûté très-cher et qu'il eût été du reste quelquefois impossible de raccorder avec les confluents naturels, à moins d'enterrer sous les remblais les maisons et les terres cultivées qui en bordent les rives.

Il fallut pour ces derniers modifier le programme général et se contenter, dans chaque cas particulier, de la pente que permettaient l'état des lieux et l'obligation de ne pas atteindre un chiffre trop fort pour les dépenses de premier établissement.

Il était évidemment préférable de répartir les charges entre le présent et l'avenir et de laisser à ceux qui bénéficieraient des travaux le soin d'entretenir les torrents à une profondeur convenable par l'enlèvement successif des dépôts.

On adopta en conséquence pour le plafond de chaque torrent un plan partant du radier du pont de décharge et s'élevant vers le confluent naturel suivant la pente la mieux en rapport avec la configuration des lieux.

Aux vallons de Comba 1 et de Comba 2, cette pente a pu être portée à 0.027; mais elle a été réduite à 0.016 pour le vallon de Saint-Sauveur, à 0.019 pour le vallon de Manda et à 0.010 pour le vallon de Darbézy.

Les terrassements du plafond supportaient les deux levées latérales dont le talus intérieur était à 45 degrés et l'extérieur à 2 de hauteur pour 3 de base.

Les talus intérieurs et le plafond étaient garantis par un perré de $0^m.40$ d'épaisseur en pierres sèches.

La largeur de la cunette au plafond était constante pour chaque torrent, variable d'un torrent à l'autre, et égale au débouché du pont de décharge correspondant.

La Pl. 10 (*fig.* 4 à 6) représente un type de ce système d'endiguement.

La digue de la rive droite a dû être munie, comme dans le premier système, d'un pertuis éclusé pour l'écoulement des eaux claires après le colmatage.

Nous avons donné les détails de cet ouvrage dans la Pl. 9 (*fig.* 5 à 9).

Ce mode d'endiguement entraînait encore des dépenses considérables.

Ainsi l'endiguement du vallon de Comba 1, sur une longueur de 135 mètres, a coûté 10 900 francs, soit 81 francs par mètre courant. Ceux des vallons de Comba 2, de Saint-Sauveur, de Manda, de Darbezy, pour des longueurs de 165, 320, 311 et 335 mètres, ont coûté 16 500, 38 700, 34 450 et 32 600 francs, soit par mètre courant 100, 121, 111 et 97 francs.

Aussi, lorsqu'on s'est trouvé en présence des vallons de Lingostière et de Saint-Isidore, dont les endiguements devaient être les plus longs de tous ceux de la rive gauche, on est allé encore plus loin dans l'ordre d'idées qui avait inspiré les simplifications précédentes.

La configuration des lieux ne permettait qu'un exhaussement insignifiant du plafond du lit; on n'en a donné aucun; on s'est contenté d'établir les deux levées latérales sur le sol naturel. Ensuite, on s'est dit que si la digue de la rive gauche des torrents devait être tenue sur une certaine longueur à une hauteur à près égale à celle de la digue principale, afin d'empêcher les eaux du Var de se déverser par-dessus son couronnement et de courir sur les terrains colmatés à l'aval, il n'en était pas de même de la digue de la rive droite, que cette dernière avait uniquement pour objet de contenir et de diriger les crues des torrents, et qu'il

n'y avait aucun inconvénient à en araser beaucoup plus bas le couronnement.

On pourrait le relever plus tard avec le produit des premières déjections du torrent; d'où résulterait le double avantage de réduire pour ce supplément de hauteur les mouvements de terre à un jet de pelle et de retarder la marche ascendante du lit, en offrant aux graviers de nouveaux vides à combler.

Les détails de ce troisième système d'endiguement sont représentés sur la Pl. 10 (*fig.* 7 à 9).

La digue d'aval est en gravier; son couronnement est à 0^{m}.50 au-dessous de celui de la digue principale. Elle est revêtue sur son parement antérieur d'une couche de béton inclinée à 45 degrés et de 0^{m}.25 d'épaisseur.

La digue d'amont est aussi en gravier; elle a 1^{m}.50 à 2 mètres de relief au-dessus du sol; elle est garantie par des plantations contre les corrosions du torrent.

Au vallon de Saint-Isidore, elle fait suite à une ancienne levée en terre dont les talus garnis de végétation sont parfaitement conservés.

Dans ce système, il n'y a plus à construire à travers la digue d'amont un ouvrage d'art important pour l'écoulement des eaux claires; un pertuis ordinaire est suffisant.

Il est résulté de ces modifications une économie de moitié dans la dépense.

L'endiguement du vallon de Lingostière sur une longueur de 495 mètres a coûté 20 200 francs, soit 41 francs par mètre courant.

L'endiguement du vallon de Saint-Isidore, sur une longueur de 370 mètres, a coûté 17 750 francs, soit 48 francs par mètre courant (*).

(*) Ces deux endiguements, construits en régie, n'ont pas coûté en réalité autant que nous l'indiquons. Nous avons dû, pour la comparaison que nous voulions faire, calculer la dépense au moyen des prix de l'entreprise Sarlin et Rabattu.

kilomètres de digue, fut opérée le 25 juillet 1868 ; mais les 4 derniers kilomètres de la seconde partie n'avaient été construits qu'à une hauteur de 2m.60 au-dessus de l'étiage.

Ce n'est que le 25 juillet 1869 que les travaux se trouvèrent réellement terminés.

Déplacement de la voie ferrée. — Le chemin de fer de service, jusqu'en 1863, était resté placé à peu près sur le milieu de la chaussée. On avait interdit le passage sur la digue aux charrettes, et même aux bêtes de somme; mais l'impatience des populations à jouir de cette voie, les contraventions journalières auxquelles la prohibition donnait lieu, décidèrent l'administration à adopter des mesures nouvelles. Le couronnement de la digue fut divisé en deux parties par une barrière en treillis; l'une, du côté de la rivière, d'une largeur de 3m.40, resta exclusivement affectée au service des transports pour les travaux; l'autre, d'une largeur de 3m.60, fut livrée à la circulation publique. La voie fut reportée vers le perré, de façon que le rail extérieur n'en fût plus distant que de 1 mètre.

Des gares d'évitement furent établies tous les 200 mètres du côté des bassins, afin que les voitures pussent se croiser. Des bornes espacées de 10 mètres protégèrent la barrière contre les chocs du côté de la voie charretière (Pl. 9, *fig.* 11).

Élargissement de la digue. — A la suite de cette innovation, la circulation prit tout à coup des proportions inattendues; on ne tarda pas à reconnaître qu'une largeur de 3m.60, réduite même à 3m.30 devant les bornes, n'était pas suffisante pour la voie charretière.

Comme, d'un autre côté, il n'était pas facile de prévoir l'époque à laquelle on pourrait se passer du chemin de fer pour le rechargement des blocs de défense et que, d'après ce qui avait déjà été observé depuis l'origine des travaux, de nombreux rechargements paraissaient devoir encore être

effectués pendant une période de dix à quinze ans, on se décida à élargir immédiatement la voie charretière.

Le projet de cet élargissement a été approuvé par l'administration le 26 octobre 1868.

Il prévoit pour la voie charretière une largeur franche de 4^m.50 entre les bornes et la banquette à construire du côté des terres.

La chaussée y est portée à 3 mètres de largeur (Pl. 9, *fig.* 13).

Ce projet montant à la somme de 82 000 francs sera sans doute prochainement exécuté; nous l'avons considéré comme tel en dessinant le profil auquel nous renvoyons.

Renseignements sur le matériel d'exécution.— Le matériel employé aux travaux de l'endiguement représente une valeur de plus de 700 000 francs.

Une partie provient des premiers concessionnaires; une autre partie a été achetée directement par l'administration et remise à l'entrepreneur Delucca; la troisième partie, la plus considérable, a été fournie par les entrepreneurs Sarlin et Rabattu et le montant leur en a été remboursé par l'Etat sur série de prix.

Matériel fixe.— Le matériel fixe cemprend la voie et tous ses accessoires.

A l'exception de 4 000 mètres environ de rails Brunel pesant 34 kil. le mètre courant, les rails sont du modèle dit *à simple champignon.*

Leur poids varie généralement entre 11^k.40 et 15^k.80 le mètre courant.

Leur longueur développée est de 68 600 mètres environ, dont 46 200 mètres pour la voie principale de la grande digue et 22 400 mètres pour les carrières de Baus-Roux et de la Gaude, pour les chantiers des blocs artificiels, pour les gares d'évitement, pour le pont de service de la Gaude, etc.

Les traverses sont espacées de 0^m.80.

Elles sont en bois de pin, et leur équarrissage est de 0m.20/0.16.

Elles sont armées à leurs extrémités de deux coussinets en fonte dont le type le plus ordinaire pèse 3k.15. Les coussinets de joint pèsent 4k.70.

Les chevilles en fer qui servent à fixer les rails sur les traverses pèsent 0k.120 l'une.

Les changements de voie, les cœurs, les plaques tournantes sont semblables à ceux qu'on voit sur tous les chemins de fer de service.

Matériel roulant. — Le matériel roulant se compose de 236 wagons avec roues métalliques et châssis en bois de divers modèles (*).

79 de ces wagons proviennent de l'entreprise Delucca; 157 ont été fournis par l'entreprise Sarlin et Rabattu aux prix du bordereau.

Il comprend en outre 8 grues Pinard pour le chargement des blocs en carrière et leur déchargement au pied de la digue; 4 de ces grues peuvent manœuvrer des poids de 4 000 kilog; les 4 autres des poids de 2 500 kilog.

Valeur du matériel. — La valeur du matériel qui se trouvait sur l'endiguement à l'origine de l'entreprise Sarlin et Rabattu était de 250 000 francs environ, ci. . . . . francs 250 000

Celle du matériel acquis pendant la durée de cette dernière entreprise a été de 475 000 fr. ci. 475 000

Total. 725 000

(*) On distingue les wagons en wagons à tablier mobile, à tablier fixe, en wagons versant d'un côté, versant des deux côtés, versant par bout, en wagons contre-bas circulant dans les fosses des chantiers de fabrication des blocs artificiels.

Plusieurs de ces wagons sont munis de freins et de caisses. Les wagons pèsent en moyenne à vide 1 400 kilog.; ils portent environ 2 mètres cubes de matériaux pleins, pesant, à raison de 2 700 kilog. l'un, 5400 kilog. Ils coûtent 620 francs l'un dans l'autre.

DEUXIÈME PARTIE.

De quelques questions importantes se rattachant aux travaux d'endiguement et de colmatage de la rive gauche du Var.

I.—DÉTAILS SUR LES OPÉRATIONS DE COLMATAGE ET SUR LA RICHESSE DES EAUX DU VAR EN LIMON.

Introduction des eaux et manœuvre des poutrelles.— L'introduction des eaux troubles dans les bassins s'opère au moyen de barrages de déviation établis immédiatement à l'aval de chaque prise d'eau, obliquement sur la direction de la digue principale.

Ces barrages sont formés de deux ou trois rangées de pieux moisés, de 3 à 4 mètres de fiche, de 1 mètre à 1ᵐ.50 de saillie au-dessus des graviers; l'intervalle est garni de moellons; à l'aval, sont posés des blocs d'un fort volume pour prévenir les affouillements.

Le couronnement est incliné en glacis de l'amont vers l'aval.

A l'origine des travaux et pendant de longues années à la suite, on construisait les barrages avec des piquets de 2 mètres environ de longueur reliés sur la partie hors de l'eau par des fascinages et garnis par derrière d'une petite levée de gravier.

Ces dispositions étaient plus économiques au point de vue des frais de premier établissement; mais à chaque crue, les ouvrages étaient emportés; il fallait donc y revenir à plusieurs fois, et nous avons reconnu que, tout compte fait, il était préférable de se placer de prime abord dans des conditions plus stables.

Les eaux une fois introduites dans les bassins, on les laisse courir derrière la digue entre les pertuis qui en longent le pied.

Le seuil de ces pertuis est établi au niveau de l'étiage du Var, et comme généralement les graviers se trouvent à 0m.80 au-dessus de ce niveau, il s'ensuit que presque partout, d'un pertuis à l'autre, il règne un fossé de 0m.80 de profondeur, dans lequel sont contenues les eaux déviées.

Sur quelques points où les graviers ne présentent pas une saillie aussi forte, les eaux s'épanchent librement sur des surfaces plus ou moins grandes.

Lorsqu'elles sont arrivées au dernier des bassins de la série qu'elles sont appelées à colmater, on place les poutrelles aux pertuis de la digue aval de ce bassin.

Le gonflement se produit ; le bassin est inondé ; les eaux perdent leur vitesse et le limon se dépose.

Les poutrelles ne sont pas placées d'un seul coup sur toute la hauteur des pertuis ; il est utile, pour éviter de forts tassements dans les levées en gravier, de les soumettre à des pressions successivement croissantes. On commence donc par poser la moitié des poutrelles de façon à inonder seulement les parties les plus basses du terrain ; ce n'est qu'après ce comblement préparatoire des dépressions des bassins que l'on fait refluer les eaux jusqu'au niveau maximum qu'elles doivent atteindre, c'est-à-dire jusqu'à 0m.20 en contre-bas du couronnement des levées (*).

Les pertuis d'une même levée ne doivent pas être barrés constamment à la même hauteur. Autrement les eaux arrivant par le fossé dans le bassin, ne conserveraient pas une vitesse suffisante pour charrier le limon jusqu'au pertuis de la montagne ; les dépôts s'entasseraient dans la région voisine de la digue ; leur épaisseur irait toujours en diminuant à mesure qu'on s'en éloignerait.

(*) La manœuvre des poutrelles est confiée à des agents spéciaux dits *gardes-éclusiers*. Ils sont armés de gaffes terminées par un crochet.

Les poutrelles portent sur une de leurs faces deux anneaux, un près de chaque extrémité. C'est par là qu'on les saisit lorsqu'on veut les enlever.

Il faut donc avoir soin de tenir alternativement le déversoir de chacun des pertuis plus bas que l'autre ou que les deux autres, lorsqu'il y en a trois sur une levée ; le bassin se trouve alors sillonné de courants qui répartissent uniformément les dépôts à la surface.

Lorsqu'on juge que le dernier bassin est suffisamment (*) colmaté, on passe à l'avant-dernier et successivement à chacun des autres, en remontant vers la prise d'eau.

On n'opère pas toujours absolument comme nous venons de le décrire, par bassin isolé ; lorsque les eaux sont très-troubles, on ne les dépouille entièrement de leur limon qu'en les faisant séjourner successivement dans cinq ou six bassins.

Ce procédé de colmatage, qui consiste à marcher de l'aval vers l'amont, a pour principal avantage de laisser toujours une libre entrée aux eaux troubles ; en commençant l'opération par les bassins les plus voisins de la prise d'eau, on provoquerait l'engorgement des canaux d'amenée et même du bief du barrage de déviation, et il faudrait, à des intervalles rapprochés, ouvrir un passage aux eaux vers les bassins inférieurs.

Quantités de limon charriées par le Var. — Les magnifiques conditions que présente le Var pour les opérations de colmatage nous ont inspiré l'idée d'entreprendre sur ces limons des expériences semblables à celles qui ont déjà été poursuivies sur d'autres rivières et notamment sur la Durance.

Pour revêtir un certain caractère de précision, ce travail devait reposer sur de nombreuses opérations de jaugeage et d'analyse.

Nous résolûmes donc, après en avoir demandé l'autorisation à l'administration supérieure qui l'accorda avec em-

---

(*) Nous disons *suffisamment* et non pas *complètement* : le colmatage s'achève au moyen des troubles que laissent échapper plus tard les bassins supérieurs.

pressement, d'envoyer au laboratoire de l'école des ponts et chaussées. pour y être analysés, des échantillons d'eau puisés tous les jours à une heure déterminée dans le Var, et nous installâmes en même temps, au pont de service de la Gaude, une échelle qui permettait de calculer approximativement le débit journalier du fleuve.

Ces opérations s'étendirent sur une année entière ; elles commencèrent au 1er septembre 1864 et finirent au 31 août 1865.

Les éléments les plus intéressants en sont consignés dans le tableau suivant :

DÉSIGNATION des mois. 1		Nombre de jours d'observation. 2	DÉBIT MOYEN par jour déduit du débit total du mois. 3	POIDS MOYEN de limon sec charrié par jour déduit du poids total charrié par mois. 4	POIDS MOYEN de limon sec contenu dans un mètre cube de la masse d'eau débitée dans un mois. 5	POIDS MOYEN de limon sec contenu dans un mètre cube d'eau puisée tous les jours dans le Var. 6
			mètres cubes.	kilog.	kilog.	kilog.
Septembre	1864.	30	2 592 000	1 915 000	0.739	0.739
Octobre	—	30	49 169 000	461 360 000	9.383	2.950
Novembre	—	27	52 704 000	28 297 000	0.537	0.484
Décembre	—	16	87 210 000	10 843 000	0.124	0.228
Janvier	1865.	15	5 491 000	361 000	0.066	0.073
Février	—	28	8 672 000	195 000	0.053	0.045
Mars	—	31	3 874 000	1 453 000	0.375	0.267
Avril	—	30	6 106 000	2 399 000	0.393	0.363
Mai	—	31	7 692 000	4 010 000	0.521	0.446
Juin	—	29	8 683 000	100 174 000	11.537	5.315
Juillet	—	30	5 546 000	9 088 000	1.639	1.510
Août	—	31	2 829 000	3 269 000	1.156	1.241

Ce tableau et les analyses journalières dont il est déduit nous donnent lieu de signaler en cette place quelques faits intéressants.

Les époques les plus favorables pour le colmatage sont les mois de juin et d'octobre.

Le mois de juin correspond à la fonte des neiges.

Le mois d'octobre, aux grandes pluies d'automne.

A ces époques, le poids des troubles atteint certains jours 37 kilogrammes par mètre cube d'eau (30 juin 1865).

Les orages d'été occasionnent quelquefois des crues très-chargées en limons. Ainsi le 12 août 1865 les eaux contenaient 31 kilogrammes de troubles par mètre cube.

La saison la moins favorable est l'hiver ; la proportion des troubles y est descendue, en 1865, jusqu'à 9 grammes seulement par mètre cube d'eau (9 janvier).

Cherchons maintenant à nous rendre compte, au moyen des données numériques qui précèdent, de la puissance colmatante du Var.

Et d'abord, sans nous inquiéter de la possibilité de l'utilisation complète des eaux du fleuve, examinons comment se traduit ce que nous appellerons sa *puissance colmatante totale*, c'est-à-dire par quel chiffre s'exprime la quantité de limon charriée dans une année et versée dans la mer.

On obtiendra ce cube en multipliant les nombres de la colonne (4) par le nombre de jours de chaque mois, et il viendra ainsi, pour les poids de limon entraînés par mois et par an, les chiffres suivants :

Désignation des mois.	POIDS de limon sec charrié par mois.
	kilog.
Septembre 1864	57 450 000
Octobre —	14 302 160 000
Novembre —	848 910 000
Décembre —	336 133 000
Janvier 1865	11 191 000
Février —	5 460 000
Mars —	45 043 000
Avril —	71 970 000
Mai —	124 310 000
Juin —	1 005 220 000
Juillet —	281 728 000
Août —	101 339 000
Poids par an	19 190 914 000

En adoptant, comme l'ont fait quelques auteurs pour des cas analogues, le chiffre de 1 600 kilogrammes pour le poids d'un mètre cube de limon sec, on convertira le poids précédent en un cube de 11 994 321 mètres.

Pour donner au résultat une forme plus frappante, nous traduirons ce cube en surface colmatée, à raison de 0m.30 d'épaisseur de dépôt, et nous arriverons ainsi à conclure que les limons charriés dans l'espace d'une année par le Var suffiraient au colmatage d'une superficie de terrain de 39 981 070 mètres quarrés, soit 4 000 hectares.

C'est huit fois la surface conquise par l'endiguement de la rive gauche.

Étudions la question à un point de vue plus pratique. Demandons-nous quelle est la *puissance colmatante par dérivation;* en d'autres termes, quelle est la surface que l'on peut colmater par an en dérivant du Var un volume d'eau constant, par exemple d'un mètre cube par seconde.

Pour résoudre ce problème, nous multiplierons les nombres de la colonne (6) par le nombre de jours de chaque mois et par 86 400, nombre de secondes contenues dans un jour, et nous obtiendrons les chiffres suivants :

DÉSIGNATION des mois.	POIDS de limon sec charrié par mois par un canal débitant 1 mètre cube par seconde.
	kilog.
Septembre 1864	1 915 488
Octobre —	7 901 280
Novembre —	1 254 528
Décembre —	610 137
Janvier 1865	195 523
Février —	108 864
Mars —	715 133
Avril —	940 896
Mai —	1 194 566
Juin —	13 776 480
Juillet —	4 044 384
Août —	3 323 894
Poids par an	36 011 173

Ce poids équivaut à un cube de $\frac{36\,011\,173}{1\,600} = 22\,507$ mètres cubes, et pourvoirait au colmatage de 7 à 8 hectares.

Faisons une application de ce résultat à la recherche du

temps qu'aurait exigé le colmatage des terrains de la rive gauche du Var, si on l'eût entrepris à la fois sur toute la longueur de l'endiguement.

En laissant de côté deux exceptions motivées par des circonstances particulières, on peut dire que les ouvrages de prise d'eau et de distribution se trouvent disposés de façon que le colmatage s'opère *au moins* à raison de 1 mètre cube par seconde et par 30 hectares.

Nous disons *au moins*, car pour un assez grand nombre de bassins cette proportion est dépassée et s'élève à 1 mètre cube pour 20 hectares et en quelques endroits pour 15 hectares.

A ce compte, en supposant que le sol des bassins eût été préalablement nivelé, que l'alimentation se fût opérée d'une manière continue, et que l'on eût effectué les manœuvres de façon à utiliser la totalité des limons, il eût fallu quatre années pour obtenir le colmatage complet des terrains conquis.

Mais les conditions que nous venons d'énumérer ne sont pas celles de la pratique et, en procédant comme nous le faisons aujourd'hui, il faut porter à six ans le nombre cherché (*).

(*) Il existe sur la longueur de l'endiguement, qui est de 23 kilomètres, et pour le colmatage de 500 hectares, vingt-et-une prises d'eau directes, c'est-à-dire établies dans la grande digue, à une ou deux ouvertures suivant l'étendue de surface desservie ; soit environ en moyenne une prise d'eau par kilomètre et par 24 hectares.

En outre, neuf pertuis ménagés dans les digues d'aval des neuf affluents, pour donner passage aux eaux dérivées à l'amont, servent eux-mêmes au besoin comme prises d'eau.

Une prise d'eau à deux ouvertures et trois pertuis dans chaque levée de colmatage se prêtent à l'introduction et à la circulation de 1 mètre cube à 1^{mc}.200 par seconde, et par conséquent au colmatage en six ans de 30 à 36 hectares. Il n'y a que deux prises d'eau, celles portant les n°s 16 et 19, qui desservent des surfaces plus fortes, d'une étendue de 50 hectares environ.

Nous avons à peine besoin d'ajouter que, réserve faite pour les deux exceptions mentionnées ci-dessus, cette durée est un maximum applicable aux terrains les moins bien desservis et que pour un grand nombre de bassins elle doit être réduite à trois ou quatre ans.

Tous ces aperçus, hâtons-nous de le dire, sont confirmés par l'expérience.

Composition chimique des limons du Var. — Les nombreux échantillons de limons analysés présentent entre eux une grande ressemblance.

On peut les considérer, pour la plupart de leurs éléments, comme tous compris entre les deux types extrêmes ci-dessous :

	Échantillon A.	Échantillon B.
Résidu insoluble dans les acides. . .	52.63	32.95
Alumine et peroxyde de fer.	5.70	4.92
Carbonate de chaux.	23.36	56.21
Azote.	0.54	0.02
Eau combinée, carbone et autres matières non dosées.	17.77	5.90
	100.00	100.00

L'échantillon A présente la proportion extrême comme minimum pour le carbonate de chaux, comme maximum pour le résidu insoluble dans les acides, l'azote, l'eau combinée, le carbone et autres matières organiques.

L'échantillon B présente les proportions inverses.

L'alumine et le peroxyde de fer seuls n'ont, dans aucun des échantillons, une valeur extrême ; les analyses accusent des quantités variables entre 3.56 et 9.37. Les deux échantillons sont donc pour ces éléments voisins de la valeur moyenne.

Il suit de là que l'on pourrait prendre pour la composition moyenne des limons du Var le type suivant :

Résidu insoluble dans les acides.	42.79
Alumine et peroxyde de fer.	5.31
Carbonate de chaux.	39.79
Azote.	0.28
Eau combinée, carbone et autres matières organiques non dosées.	11.83
	100.00

Mais comme la composition dont nous cherchons le type comporte une certaine latitude, nous proposerons de la simplifier comme il suit, en nous inspirant, pour forcer ou réduire les chiffres, de l'ensemble des analyses :

Résidu insoluble dans les acides.	45.00
Alumine et peroxyde de fer.	5.00
Carbonate de chaux.	40.00
Azote.	0.10
Eau combinée, carbone et autres matières organiques non dosées.	9.90
	100.00

Analogie du Var et de la Durance au point de vue de la puissance colmatante et de la composition des limons. — Les documents contenus dans un mémoire de M. l'ingénieur en chef Hervé-Mangon, sur les eaux de la Durance, nous ont permis de comparer les résultats constatés sur cette rivière avec ceux trouvés au Var.

La puissance colmatante par dérivation, la seule qu'il importe d'examiner, s'obtient facilement, pour la Durance, au moyen des chiffres de la sixième colonne du tableau de la page 6 dudit mémoire, en multipliant ces chiffres par le nombre de jours auxquels ils s'appliquent et par 86400. Il vient ainsi :

DÉSIGNATION des périodes.	POIDS MOYEN de limon sec contenu dans 1 mètre cube d'eau puisée tous les jours dans la Durance.	Nombre de jours de la période.	POIDS de limon sec charrié par mois par un canal débitant 1 mètre cube par seconde.
	kilog.		kilog.
Du 1er novembre 1859 au 29 février 1860.	0.339	121	3 544 042
Du 1er au 31 mars 1860.	0.299	31	800 842
Du 1er au 30 avril —	0.821	30	2 128 032
Du 1er au 31 mai —	1.702	31	4 558 637
Du 1er au 30 juin —	2.008	30	5 204 736
Du 1er au 31 juillet —	0.401	31	1 074 038
Du 1er au 31 août —	0.199	31	533 002
Du 1er au 30 septembre —	3.632	30	9 414 144
Du 1er au 31 octobre —	2.843	31	7 614 691
Poids par an.	. . . .	. . .	34 872 164

Ce poids est presque identique à celui trouvé pour le Var. Donc, à en juger par les documents un peu restreints, il est vrai, dont nous disposons, les puissances colmatantes des deux cours d'eau sont les mêmes.

Quant à la composition chimique des limons, si l'on rapproche les analyses faites pour le Var de celles données par M. Mangon à la page 7 du mémoire précité, on se convaincra qu'il existe entre elles la plus complète analogie.

Le Var et la Durance se présentent donc, sous le rapport de leur richesse en limons et de la composition de ces limons, avec les mêmes caractères. Ce sont, si l'on peut ainsi parler, deux rivières sœurs.

Ce fait que l'on pouvait déjà prévoir à la seule inspection d'une carte géologique des Alpes, se trouve aujourd'hui rigoureusement établi.

Aussi nous dispenserons-nous de pousser cette étude plus avant au point de vue chimique et agricole. Ce que nous dirions ferait double emploi avec ce qui a déjà été écrit sur la Durance dans divers ouvrages et notamment dans le mémoire de M. Mangon (*).

(*) Nous nous applaudissons d'autant plus aujourd'hui d'avoir resserré sur ce sujet les limites de notre cadre, que depuis l'é-

II. — DES FIÈVRES DÉVELOPPÉES PAR LES TRAVAUX DE TERRASSEMENT ET DE COLMATAGE.

Les fièvres intermittentes ou d'accès qui ont désolé les chantiers et les localités à proximité des travaux ne constituent à proprement parler un fait nouveau que par le grand nombre des cas observés ; elles ont de tout temps existé dans la vallée du Var ; les phénomènes naturels qui les engendraient autrefois, les opérations artificielles qui les ont développées dérivent d'une seule et même cause.

Le colmatage n'a pas apporté les germes nouveaux d'une maladie inconnue.

Il n'a fait qu'amener, dans un mal invétéré, une période aiguë, une crise en quelque sorte salutaire, qui en a été la dernière manifestation.

Les fièvres paludéennes prennent naissance partout où des matières végétales sont en proie à un travail de désorganisation.

Or, le Var, par la nature des limons qu'il charrie, par les caprices de son cours sinueux, devait se prêter à la formation de nombreux foyers pestilentiels.

Divaguant sans cesse sur un lit excessivement large, laissant chaque jour à nu ou à peine recouverts d'une mince couche d'eau les limons qu'il avait déposés quelques jours auparavant, il livrait à un soleil ardent, dans les mares résultant de ces variations continuelles, les matières organiques que le courant y avait apportées mélangées aux limons et celles qui se développaient promptement à leur surface.

L'intensité des fièvres dues à des causes aussi variables

---

poque où cette partie du mémoire a été rédigée, M. Hervé Mangon a publié, dans un nouvel ouvrage, les résultats des analyses des limons que nous lui avions expédiés. (*Expériences sur l'emploi des eaux dans les irrigations*, etc. Dunod, 1869.)

devait elle-même être soumise à de perpétuelles oscillations, et telle année, par exemple, où le Var conservait exceptionnellement un lit toujours le même, il pouvait arriver qu'il n'y en eût pas trace.

L'exécution des immenses travaux de terrassements de la rive gauche, en ramenant au jour et en soumettant à l'action du soleil des quantités considérables de matières organiques enfouies dans les graviers, et, plus encore, l'immersion des terrains conquis et leur transformation par le colmatage ont sans contredit exalté à un haut degré les principes générateurs du mal; mais aussi ils en ont prévenu ou en préviendront à jamais le retour.

On s'est donc trop hâté dans certaines circonstances de maudire les opérations de colmatage.

On n'a pas assez réfléchi que leurs mauvais effets n'étaient que passagers; que leur bonne influence se prolongerait sans fin.

Nous avons essayé à diverses reprises de les décharger des reproches immérités que leur adressaient les populations effrayées par la situation du moment.

Alors qu'on parlait de les suspendre, nous avons insisté pour qu'on les poursuivît.

Nous avons été assez heureux pour nous voir soutenu dans cette lutte par une commission d'hommes spéciaux, de médecins, à laquelle, pendant l'été de 1867, M. le préfet, sur les instances de M. le maire de Nice, avait cru devoir demander son avis sur les conséquences possibles du colmatage, et dont la complète adhésion à nos idées en a assuré, dès cette époque et jusqu'à l'achèvement des travaux, la facile application.

Nous donnerons plus d'autorité à notre opinion en empruntant la forme sous laquelle elle a été reproduite et développée par des personnes si compétentes. Nous transcrivons :

« Un bassin de colmatage, a dit M. l'ingénieur Vigan,

« participe un peu de la nature de l'étang, et plus encore « malheureusement de celle du marais ; c'est là un rapprochement qui est non-seulement très-juste, mais encore « très-utile ; car nous allons voir qu'il conduit à une appréciation pratique excellente.

« L'évaporation de l'eau n'engendre pas en général les « fièvres intermittentes. Dans le voisinage des fleuves, des « lacs, des étangs, où elle s'accomplit sur de vastes surfaces, on n'a pas remarqué que cette maladie s'observe « plus fréquemment que partout ailleurs, lorsqu'aucune « cause particulière ne joint son influence à celle de la « vapeur d'eau. Pour que l'évaporation de l'eau produise « des fièvres d'accès, il faut qu'elle entraîne une certaine « quantité de miasmes d'origine végétale, qui sont les facteurs généraux de cette espèce de maladie ; c'est pour « cela que l'on observe généralement ces fièvres dans le « voisinage des marais, et même seulement des mares dont « les eaux contiennent une grande quantité de plantes en « décomposition.

« Or, un bassin de colmatage, aussi longtemps que « l'exhaussement et le nivellement du sol n'y sont pas « achevés, se trouve dans l'une ou l'autre de ces deux conditions : ou il est immergé à une certaine hauteur, et « alors il ressemble à un étang et en a l'innocuité ; toute « végétation est étouffée dans sa profondeur ; la nappe liquide qui la recouvre ne dégage que de la vapeur d'eau « et pas de miasmes, et la fièvre manquant de ses éléments « générateurs ne peut prendre naissance à l'entour.

« Ou bien, le bassin ne contient qu'une très-petite quantité d'eau, et alors il constitue un véritable marais, ou « tout au moins il se rapproche de la nature des marais ; « une certaine végétation s'y développe ; sur quelques « points de sa surface, le sol s'arrondit en éminences qui « se dessèchent au soleil, tandis que sur d'autres points il « se creuse en godets, dans lesquels miroite une eau crou-

« pissante, colorée par des matières organiques, et exha-
« lant ces miasmes spéciaux dont l'absorption engendre les
« fièvres d'accès.

« On voit la déduction pratique que l'on doit faire sortir
« de cette comparaison. Un bassin de colmatage, inoffensif
« pour la santé publique aussi longtemps qu'il participe
« de la nature de l'étang, et devenant au contraire nui-
« sible dès qu'il participe de la nature du marécage, on
« doit éviter de le soumettre à des alternatives d'immer-
« sion et d'émersion ; on ne doit jamais le laisser émaillé
« de ces flaques d'eau infectes, d'où se dégagent des mias-
« mes fébrigènes ; on doit au contraire le tenir constam-
« ment immergé d'eau à une hauteur convenable, et il
« est d'autant plus nécessaire de prendre cette précaution
« que l'on se trouve à une époque de l'année plus favo-
« rable à la formation et à la dissémination des effluves
« miasmatiques, dans la saison d'été, par exemple.

« Ces préceptes, lors même qu'ils ne seraient que logi-
« quement déduits d'un rapprochement ingénieux, se-
« raient bons à mettre en pratique ; mais ils se recomman-
« dent par un autre titre, ils sont sanctionnés par l'ob-
« servation, et à leur égard l'expérience n'est plus à faire ;
« elle est faite. Nous tenons de M. Dorsaz, conducteur
« principal des ponts et chaussées, que dans le voisinage
« des bassins recouverts d'eau à une hauteur suffisante,
« la fièvre ne s'observe pas, tandis qu'elle existe habi-
« tuellement autour des bassins dont la surface encore
« inégale est sèche dans les parties élevées, immergée dans
« les parties basses. Le fait a été constaté il y a peu de
« jours encore. M. Dorsaz et M. le docteur Faraut, qui est
« chargé de soigner les ouvriers malades au Var, nous ont
« affirmé en effet que plusieurs bassins contigus, situés
« entre Saint-Sauveur et Manda, ayant été vidés avant le
« nivellement complet de leur surface, les miasmes qui
« s'en échappèrent aussitôt donnèrent lieu à des manifes-

« tations fébriles si évidentes que l'on fut obligé après « quelques jours de les remplir de nouveau.

« Que conclure de tout cela, sinon que le raisonnement « et l'expérience, d'accord sur ce point, font un devoir de « maintenir les bassins de colmatage recouverts d'une « couche d'eau suffisante jusqu'au moment où le sol aura « atteint un degré d'élévation et de nivellement tel que « l'on sera assuré d'obtenir, en retirant les eaux, un des- « sèchement facile, prompt et complet?

« Le temps nécessaire pour atteindre ce résultat doit « évidemment varier avec l'étendue des bassins, l'inégalité « de leur surface, la quantité des eaux qui la recouvrent « la saison de l'année, etc. . . . .

« Fixer un délai à la durée de l'occupation des bassins « par l'eau, ce serait s'exposer, en présence de conditions « si diverses et si variables, à commettre de nombreuses « erreurs, et assumer la responsabilité des dangers qui en « résulteraient. C'est aux hommes du métier à déterminer « le temps de cette occupation suivant les cas. . . . . .

. . . .

« Il est pour remplir les bassins des époques qui sont « assurément préférables aux autres. Ainsi pendant les « temps chauds et secs, les eaux du Var sont trop limpides « pour fournir un précipité limoneux considérable. Pen- « dant le temps des pluies, au contraire, et à l'époque de « la fonte des neiges, elles entraînent des substances et « des détritus de tout genre, qui peuvent donner un abon- « dant dépôt. Mais c'est surtout après les pluies d'orage « qu'elles roulent dans leur lit une masse énorme de terre « limoneuse et de pierres qui ont été détachées du sol avec « d'autant plus de facilité que celui-ci était plus sec, et « que la pluie a été plus brusque et plus forte. Il est évi- « dent qu'elles sont alors le plus propres à produire un « atterrissement prompt et uniforme.

« Mais s'il est une époque d'élection pour remplir les bas-

« sins, il y en a une aussi pour les vider, lorsque le colma-
« tage est terminé (*). Ce qu'il importe alors surtout, c'est
« que le dessèchement s'accomplisse avec rapidité, sans
« donner lieu à un dégagement de ces miasmes qui pro-
« duisent la fièvre; il faut rechercher la chaleur en évitant
« les conditions générales des miasmes.

« On atteint facilement ce double but au printemps, sur-
« tout vers le milieu du printemps (**); la chaleur est alors
« assez grande pour que le desséchement soit rapide et la
« végétation n'est point assez avancée pour que des éma-
« nations provenant des végétations en décomposition
« infectent l'air et produisent des fièvres.

« C'est donc la saison du printemps et surtout le milieu
« du printemps que l'on doit choisir de préférence pour
« vider les bassins après un complet (***) colmatage. »

Étudiant ensuite la question à un autre point de vue, celui de l'alimentation des ouvriers et des conditions hygiéniques où ils se trouvent placés, la Commission ajoute :

« A côté des mesures qui se rapportent à l'opération du
« colmatage en elle-même, il convient de placer celles qui
« concernent les ouvriers qui la pratiquent. Contre la fièvre
« paludéenne, aussi bien que contre toutes les autres ma-

(*) Il eût été bon d'ajouter : « ou sur le point de l'être. »

(**) Nous avions proposé, dans nos rapports antérieurs à celui de la Commission, de retirer les eaux des bassins au 1er juin et de les y remettre au 15 octobre.

Les retirer des bassins avant le 1er juin, disions-nous, serait vouloir perdre le fruit des crues de mai qui sont des meilleures pour le colmatage. Les retirer après serait s'exposer à voir les terrains encore humides à l'époque des fortes chaleurs. De même, en les remettant après le 15 octobre, on ne profiterait pas des crues d'automne; en les remettant avant, dans une saison encore chaude, on provoquerait la formation de miasmes.

(***) La remarque faite au sujet de l'un des paragraphes qui précèdent s'applique également ici. Ce qu'il faut considérer surtout, c'est la période où les dépôts, sans être terminés, ont déjà atteint une assez grande épaisseur.

« ladies, la résistance individuelle est une garantie excel-
« lente, la meilleure peut-être de toutes. Or cette garantie
« a ses sources principales dans une bonne hygiène ; la
« propreté du corps et du logis, une nourriture de qualité
« convenable, des boissons toniques, sont les meilleurs
« moyens de prophylaxie individuelle que l'on puisse mettre
« en usage.

« Nous en avons recueilli la preuve sur les lieux mêmes.
« Au Var, l'administration des ponts et chaussées éclairée
« par l'expérience des années passées et animée à l'égard
« des ouvriers de sentiments paternels et tout à fait loua-
« bles, s'est ingéniée à rendre aussi bonnes que possibles
« les conditions au milieu desquelles ils vivent. Dans ce
« but elle a fait élever pour eux sur un terrain sec et sa-
« lubre des baraques en planches peintes et vernies, où
« ils trouvent un logement propre et sain ; elle a fait creu-
« ser à proximité un canal profond dans lequel coule une
« eau limpide et de bonne qualité pour servir à leurs be-
« soins ; elle leur fait distribuer tous les jours une double
« ration de café et de l'eau acidulée à volonté pour aug-
« menter leur tonicité naturelle. A ces soins dictés par une
« sollicitude intelligente et dont l'efficacité s'est affirmée
« par une diminution considérable dans le nombre des
« malades, nous sommes heureux de rendre hommage et
« d'applaudir.

« Toutefois, nous regrettons qu'une égalité absolue de
« conditions hygiéniques ne donne pas à tous les ouvriers
« employés au Var, un égal degré de résistance à l'in-
« fluence paludéenne. Il y a en effet au Var deux classes
« d'ouvriers : ceux qui appartiennent à l'administration
« des ponts et chaussées et ceux qui sont au service des
« entrepreneurs particuliers chargés de l'exécution d'une
« partie des travaux.

« Les uns et les autres profitent également des mesures
« heureuses prises par l'administration ; mais il est un

« point d'hygiène à l'égard duquel cette dernière ne pour-
« rait rien faire sans s'immiscer trop directement et d'une
« façon pour ainsi dire indiscrète à la vie intime des ou-
» vriers ; c'est en ce qui concerne la nourriture. Or, à ce
« point de vue, il existe une différence essentielle entre les
« deux classes d'ouvriers dont nous venons de parler : tan-
« dis que les uns sont des ouvriers choisis, intelligents,
« bien payés et se nourrissant bien, les autres sont des ou-
« vriers recrutés au rabais, moins intelligents, moins payés
« et se nourrissant mal.

« De là, une différence dans la réceptivité morbide.

« Tandis que les premiers ont présenté cette année (1867)
« à peine quelques cas de fièvre intermittente, les seconds
« ont fourni à l'épidémie la majeure partie de son contin-
« gent, et le jour de notre visite, ils formaient la totalité
« des 26 malades qui se trouvaient à l'ambulance de
« Saint-Laurent-du-Var. Est-il besoin d'en conclure que
« des soins d'hygiène méthodiques et persévérants non-seu-
« lement peuvent, mais aussi doivent préserver de la fièvre
« intermittente du Var aussi bien que de beaucoup d'autres
« maladies (*) ? »

Enfin, partageant jusqu'au bout notre opinion sur les bons effets de la transformation en prairies et en champs des graviers marécageux qui composent aujourd'hui le lit du Var et sur la disparition probable de tout symptôme de fièvre dans une vallée où depuis des siècles cette maladie semblait avoir élu domicile, la Commission termine son rapport en ces termes :

(*) Une précaution qui rentre dans la catégorie des soins préventifs et qu'il importe de recommander aux ouvriers, consiste à ne jamais s'exposer à l'air le soir, à partir du coucher du soleil. C'est le moment le plus redoutable, peut-être parce qu'à raison de l'abaissement de la température, les miasmes formés pendant la journée et mis successivement en suspension dans l'air, tombent et s'accumulent dans les couches inférieures et voisines du sol.

« En prenant les précautions que nous venons d'indiquer, « nous croyons que l'on peut dépouiller de toute espèce de « nocuité cette belle opération du colmatage, qui transforme « des terrains infects, malsains et stériles en un sol riant, « salubre et d'une fécondité puissante. Mais en supposant « même qu'on ne pût le rendre aussi inoffensif que nous « le croyons, le colmatage n'en mériterait pas moins toute « l'estime des gens qui ont le désir ou le devoir de contri- « buer à assurer l'hygiène publique et la richesse du pays. « Pour apprécier les résultats meilleurs que l'on obtient à « ce double point de vue, on n'a qu'à comparer entre eux « les terrains conquis sur le Var avant, pendant et après « le colmatage.

« Avant, le sol, quand il n'est pas entièrement un marais, « ne présente qu'une surface sablonneuse ou pierreuse, hé- « rissée de quelques joncs ou autres plantes misérables, et « émaillée de flaques d'eau croupissante qui vicient l'air, « de sorte qu'à la stérilité se joint l'infection, avec son ac- « tion pathégénésique.

« Tels sont les terrains entre Lingostière et Saint-Isidore.

« Pendant le colmatage, aucune amélioration ne paraît « encore obtenue; pourtant, l'infection a disparu; l'in- « fluence paludéenne ne se fait sentir que par accident; au « lieu de la région désolée que l'on avait sous les yeux tout- « à-l'heure, on voit une surface sur laquelle la main de « l'homme a ouvert des canaux et posé des digues pour y « recevoir et y retenir des masses d'eau, et l'on comprend « qu'au-dessous couve et se prépare une régénération.

« Tel est l'état des choses entre Saint-Sauveur et Manda, « où se trouvaient autrefois des terrains bas qui étaient des « foyers d'infection.

« Après le colmatage, le produit est éclos; une terre nou- « velle a surgi, jeune, saine, vigoureuse, aussi favorable à « la santé que féconde en rendements lucratifs pour qui « voudra l'habiter et l'exploiter.

« C'est un sol de ce genre que l'on trouve déjà près de « Saint-Martin-du-Var et près du jardin d'acclimatation. « C'est un sol de ce genre que l'on aura définitivement con- « quis sur le fleuve, depuis Saint-Martin jusqu'à la mer, « lorsque l'endiguement et le colmatage seront terminés. »

Les résultats auxquels nous avons été conduits par la pratique, et que la commission a exposés avec une si parfaite entente des questions de cette nature, et a sanctionnés par un acquiescement sans réserves, sont appelés, nous n'en doutons pas, dans un moment où l'on semble vouloir tenter un grand nombre d'améliorations agricoles par la voie du colmatage, à adoucir pour quelques populations la période calamiteuse qu'elles devront traverser et à leur éviter d'avoir à faire elles-mêmes ces tristes expériences.

Et il ne sera pas inutile, à ce même point de vue humanitaire, de donner quelques détails sur les moyens auxquels nos médecins se sont arrêtés pour combattre le fléau, lorsqu'on s'est trouvé dans l'impossibilité de suspendre les travaux pendant la saison chaude.

Ils consistaient dans la distribution de boissons préventives, et dans l'envoi immédiat aux ambulances des ouvriers qui ressentaient les premières atteintes du mal.

Il avait été organisé un service de distribution de vin de quinquina et de café.

Sur les chantiers voisins de la mer, qui ont eu le moins a souffrir des fièvres, on s'est borné à des distributions de café ; mais sur ceux d'amont, plus fortement attaqués, on a reconnu la nécessité de ne pas s'en tenir à cette seule boisson.

Sur ces derniers, on distribuait alternativement un jour du vin de quinquina et un jour du café.

Un wagon apportait tous les matins, sur les ateliers, à l'ouverture du travail, le café ou le vin de quinquina préparé la veille dans les ambulances ; et chaque ouvrier, sans quitter son poste, recevait sa ration.

Quand les fièvres ont sévi avec plus d'intensité, nous avons fait faire une seconde distribution de café tous les jours à midi, après le dîner, au moment de la chaleur.

Le café agissant non seulement comme tonique, mais aussi comme digestif, nous paraissait, distribué à cette heure, satisfaire au programme d'hygiène tant recommandé par les médecins.

Le vin de quinquina se composait pour un litre de vin, de 60 grammes de quinquina jaune ; on ajoutait de l'alcool pour faciliter la dissolution.

Ce mélange revenait à 1 franc le litre.

Chaque ration était de 1/20 de litre, soit de 50 grammes.

Le nombre des ouvriers étant de 500 en moyenne, chaque distribution était de 25 litres et coûtait 25 francs.

Le café se composait, pour 10 litres d'eau, de 500 grammes de café et de 500 grammes de sucre. Il revenait à $0^{f}.22$ le litre.

Chaque ration était de 1/8 de litre. Chaque distribution était de 63 litres et coûtait $13^{f}.86$, soit 14 francs.

Ces distributions se faisaient du 15 juin au 15 octobre, soit pendant quatre mois représentant cent jours de travail.

Elles occasionnaient par saison une dépense de 2000 francs environ.

Ce n'était qu'une faible fraction des frais de toute nature se rapportant au service médical.

Nous devons ajouter qu'on mettait en outre à discrétion, à la portée des ouvriers sur les divers chantiers, pendant toute la saison chaude, de l'eau vinaigrée. On évitait de cette façon qu'ils ne se gorgeassent d'eau crue pour se désaltérer.

Dès qu'un ouvrier éprouvait ces lourdeurs de tête, cette langueur, qui sont les premiers symptômes des fièvres paludéennes, on se hâtait de l'envoyer aux ambulances.

Différer le traitement, c'eût été s'exposer à voir la fièvre

intermittente se transformer en fièvre pernicieuse, et se terminer par la mort du malade.

Il avait été installé deux ambulances pour desservir les 23 kilomètres de longueur des chantiers (Pl. 8, *fig.* 1).

La première, bâtie et meublée de toutes pièces par l'Administration, était située sur la rive droite du vallon de Manda; on y soignait les ouvriers des chantiers d'amont et des carrières de la Gaude et de Baus-Roux.

La seconde avait été établie dans une maison particulière du village de Saint-Laurent, à proximité des chantiers d'aval (*).

A chaque ambulance était attaché un médecin qui y faisait des visites journalières, et qui avait sous ses ordres un infirmier et une infirmière.

Les médecins traitaient les fiévreux par le sulfate de quinine, quelquefois par l'arsenic.

Le sulfate de quinine était dissous à raison de 10 grammes dans un litre d'eau faiblement acidulée avec de l'acide sulfurique. Un litre donnait vingt doses. Chaque dose contenait donc 0g. 50 de sulfate de quinine.

Dans les cas ordinaires, deux doses coupent les fièvres; au Var, il fallait employer en moyenne quatre doses, c'est-à-dire 2 grammes de sulfate de quinine.

Le sulfate de quinine était acheté directement par l'Administration à la maison Armet-Delisle à Paris. Il était payé de 250 à 325 francs le kilogramme. Il aurait coûté trois et quatre fois plus dans les pharmacies.

Quant au régime ordinaire des malades, il était calqué sur celui de tous les hôpitaux, et nous n'avons pas à nous y arrêter.

(*) L'ameublement des ambulances consistait en lits en fer avec tous leurs accessoires, en tables, en linges, ustensiles de cuisine, etc. La construction de l'ambulance de Manda a coûté 13000 francs; les trente lits qu'elle contenait et le restant de l'ameublement ont coûté 7000 francs; les vingt lits et l'ameublement de l'ambulance de Saint-Laurent, 4500 francs.

Le nombre des malades soignés annuellement dans les ambulances était de 250 en moyenne, pour un nombre journalier d'ouvriers égal à 500.

Sur les 250 malades, 200 étaient des fiévreux, les autres des blessés.

Les dépenses du service médical ont atteint des proportions considérables, Le montant total, depuis la reprise des travaux par l'Administration française, y compris les secours accordés aux ouvriers par application de la circulaire ministérielle du 15 décembre 1848, s'en est élevé à 212 000 fr., soit en moyenne à 25 000 francs par an.

L'Administration s'est toujours attachée à réglementer cette partie du service et à réprimer les abus; ce n'a pas toujours été chose facile; elle est parvenue cependant, sans se départir des règles d'humanité que commandait la situation, à éloigner des ambulances les ouvriers indolents, pour lesquels la maladie n'était souvent qu'un prétexte, et ceux qui, déjà atteints une première fois, se trouvaient par cela même exposés à de fréquentes rechutes.

III. — DES CHANGEMENTS QUI POURRONT SURVENIR DANS LE NIVEAU DU LIT DU VAR.

Il semble avéré que certains endiguements ont eu pour effet d'abaisser le lit des rivières dont ils resserraient le cours et augmentaient la vitesse en temps de crue.

M. Nadault de Buffon, dans son ouvrage sur les submersions fertilisantes, cite l'exemple de l'endiguement de l'Isère, où l'abaissement a pu être constaté devant le seuil de vingt prises d'eau établies à l'origine à $0^{m}.30$ au-dessous des eaux moyennes, et restées au bout de dix ans comme suspendues à $0^{m}.30$ au-dessus.

Rien de semblable ne s'est produit dans le Var, sans doute à raison du large débouché ménagé aux crues entre les latérales; et l'épreuve paraît dès aujourd'hui suffisante

pour permettre d'affirmer que le lit de ce fleuve est désormais à l'abri d'un abaissement.

Une cause étrangère à l'endiguement pourrait plutôt produire et produira même certainement, sur une étendue plus ou moins grande à partir de l'embouchure, le phénomène inverse.

L'exhaussement du lit se présente comme une conséquence obligée de l'avancement de l'embouchure par le fait des déjections que chaque crue déverse à la mer.

Heureusement, il s'agit en ceci d'un événement à échéance lointaine.

En effet, les graviers charriés par le Var, à mesure qu'ils tendront à se mettre en saillie sur la ligne générale du rivage, seront balayés par les vagues et dispersés sur les plages voisines.

L'embouchure ne pourra donc s'avancer sensiblement qu'à la condition d'un avancement correspondant de ces plages, longues de plusieurs kilomètres et fortement inclinées.

Ce sera peut-être l'œuvre de plusieurs siècles.

Quoi qu'il en soit, l'endiguement du Var n'y entrera pour rien. A en juger par ce qui a déjà pu être observé, son unique effet sera de rendre plus apparents, après chaque crue, les dépôts de gravier, forcément concentrés entre les prolongements des latérales (*), où ils s'entasseront, au lieu de se répandre librement comme autrefois sur un large espace.

Mais, entre deux crues, le travail incessant de la mer en fera reculer le périmètre, et finalement toutes choses reprendront la position qu'elles auraient eue un peu auparavant, si l'endiguement n'eût pas existé (Pl. 8, *fig.* 4).

(*) La rive droite du Var, près de l'embouchure, a été endiguée par un particulier, le sieur Brunet (Pl. 8).

IV. — DE L'EXHAUSSEMENT DU LIT DES AFFLUENTS.

Avant l'endiguement, le Var, dans ses crues, s'étendait jusqu'au pied de la montagne. Là il recevait les déjections des affluents et les emportait mélangées aux siennes jusqu'à la mer.

Il régnait un régime permanent.

En déblayant tout ce qui tendait à entraver son cours, le fleuve assurait la fixité des issues des affluents, par suite aussi celle de leurs lits.

La construction de la grande digue a eu pour effet de soustraire le pied des cônes de déjection des torrents aux corrosions du Var.

Les graviers n'ont pas tardé à s'accumuler sur les terrains plats, ancienne dépendance du lit du fleuve, sur lesquels on avait prolongé les lits des torrents.

Ces dépôts à l'aval des anciens confluents en ont provoqué d'autres à l'amont sur de grandes longueurs.

Le mode de formation de ces dépôts successifs nous a été indiqué par les nivellements exécutés à diverses époques dans le lit des torrents.

Les dépôts se produisent d'abord au point où débouchait l'ancien lit : ils s'étendent tant à l'amont qu'à l'aval de ce point. Du côté de l'aval, ils ne tardent pas à atteindre la limite de leur marche; elle est sur la latérale même; tout ce qui va plus loin est emporté par les crues du Var; à partir de ce moment, on peut représenter les positions successives du lit par une série de lignes convergeant toutes sur la latérale et s'élevant progressivement jusqu'à celle qui est parallèle à l'ancien lit.

Lorsque les graviers sont parvenus à cette inclinaison, le régime permanent se rétablit de nouveau; il n'y a plus d'exhaussement.

Tous les faits observés s'expliquent aisément, et pour ne

parler que du plus intéressant, de celui qui a trait à la *pente limite*, il est clair qu'on pouvait le prévoir par cette seule considération que les endiguements des affluents ayant été généralement construits avec la même section que les lits naturels, toutes choses doivent se passer à l'amont de la latérale comme elles se passaient auparavant à l'amont du pied de la montagne.

V. — Justification du procédé employé pour compléter les enrochements au moyen de rechargements successifs.

Indépendamment des travaux de premier établissement, on a dû, au fur et à mesure qu'une portion de digue était terminée, procéder à des travaux d'entretien d'un genre tout particulier, en ce sens qu'ils constituent moins une réparation qu'un complément exigé par l'insuffisance, volontaire du reste, des prévisions du projet.

Nous voulons parler du rechargement des enrochements.

A chaque crue du Var, sur les points où le courant est animé d'une grande vitesse, et principalement sur ceux où il vient frapper la digue sous un angle plus ou moins ouvert, et engendrer ces tourbillonnements plus particulièrement désignés dans le pays sous le nom de *battues*, il se produit des affouillements dans les graviers, et les blocs s'enfoncent pour venir se placer sous le perré et en prolonger en quelque sorte les fondations.

Les enrochements ne cessent de descendre qu'au moment où ils atteignent la limite des affouillements.

Cette limite est variable d'un cours d'eau à l'autre.

Sur le Var, il semblerait résulter de plusieurs observations qu'elle est à 5 mètres environ au-dessous de l'étiage (*) et que le cube des enrochements correspondant à

(*) Ce chiffre résulte surtout de sondages répétés effectués pendant les crues au pied des digues en tunages employées comme dé-

leur état d'équilibre définitif est de 8 mètres cubes environ par mètre courant, comme l'avait supposé dès l'origine M. Gardon (voir page 350).

Et cependant le dernier projet, bien que conçu sur de larges bases, ne portait pour la fourniture des enrochements que 5 mètres cubes, soit 3 mètres de moins que ce qui est nécessaire.

Bien plus, on n'a pas jugé opportun, en cours d'exécution, d'augmenter le chiffre prévu.

Aujourd'hui encore, on attend pour fournir un supplément de blocs, que les crues indiquent successivement les points à recharger.

Cette manière de procéder peut donner lieu à plus d'une critique.

En ne songeant qu'à réparer le mal sur tel ou tel point, plutôt qu'à le prévenir sur toute la longueur de l'endiguement, on s'expose à ne pas toujours arriver à temps et à voir quelquefois les perrés entamés par le pied.

De plus le travail ainsi entendu durera au moins de dix à quinze ans ; il pourra en durer vingt et plus ; car il est impossible *a priori* d'en assigner le terme extrême.

Et pendant tout ce temps, on sera soumis aux sujétions et aux dépenses que comportent l'exploitation en grand des carrières et le transport des matériaux par chemin de fer ; on aura à entretenir des installations considérables, des magasins et une voie ferrée de 23 kilomètres de long sans compter les voies de carrière et de garage.

En acceptant résolûment dès l'origine le chiffre de 8 mètres cubes par mètre courant, on aurait rendu tout accident

---

fenses provisoires sur la partie basse du cours du Var (Voir page 340). Ces ouvrages restaient quelquefois en encorbellement au-dessus d'affouillements de 4 à 5 mètres de profondeur. La compagnie du chemin de fer a descendu les fondations du grand viaduc du Var à 9 mètres au-dessous de l'étiage. C'est une précaution exagérée, mais que justifie l'importance de ce travail.

à peu près impossible et on n'aurait laissé pour l'avenir d'autre imprévu que quelques fournitures de peu d'importance pour des points affouillés à des profondeurs exceptionnelles. On aurait pu y pourvoir par les procédés de transport ordinaires, par conséquent renoncer dès l'achèvement des travaux, à l'emploi du chemin de fer, le démonter, en annexer le sol à celui de la voie charretière, porter ainsi la largeur de cette dernière de $3^m.60$ à 7 mètres et épargner à l'État le nouveau sacrifice de 82 000 francs qu'il est décidé à s'imposer pour obtenir une largeur de $4^m.50$ seulement. (Voir page 369.)

Ce sont là des considérations d'une certaine importance. Mais il en est de tout aussi puissantes qui militent en faveur du système appliqué.

Et d'abord, le chemin de fer de service ne tardera probablement pas à prendre un autre caractère. Il représentera près de la voie charretière, et comme sur son accotement, une voie plus perfectionnée. Le gouvernement se trouvera ainsi avoir indirectement réalisé d'avance, ou du moins singulièrement facilité, ce qui, dans tant de localités, est aujourd'hui l'objet des vœux des populations.

Lorsqu'on aura terminé les routes en construction dans la montagne, lorsqu'elles viendront toutes déboucher près de la tête de l'endiguement avec les rivières dont elles suivent le cours, il se présentera certainement un concessionnaire qui, sans autre subvention que la faculté de se servir du chemin de fer déjà construit, consentira à le prolonger à ses frais jusqu'à la station du Var et jusqu'à Nice, et qui, en mettant de la sorte la partie haute de plusieurs grandes vallées en communication avec la ligne de Marseille et avec le chef-lieu du département, réalisera des bénéfices plus qu'en rapport avec ses avances.

Le maintien de la voie de service assure dans un prochain avenir l'établissement de ce chemin de fer d'intérêt local, pour nous servir d'une expression déjà consacrée par l'usage.

En second lieu, comme il faut bien toujours compter avec les ressources du Trésor, on ne doit pas perdre de vue qu'une fourniture complémentaire de 3 mètres cubes par mètre courant représenterait pour les 23 kilomètres de digue 69 000 mètres cubes et en argent 483 000 fr. C'est une lourde charge qui viendrait s'ajouter aux énormes dépenses déjà supportées par l'État pour la construction de l'endiguement, et il convient de la répartir sur un grand nombre d'exercices.

Enfin, observons que le matériel d'exploitation et de transport, le jour où on le mettrait en vente, ne trouverait probablement pas d'acquéreurs et qu'on serait amené à le laisser dépérir ou à le céder à vil prix. Il vaut bien mieux qu'on achève de l'user au profit du public.

Ainsi se trouve justifié le parti auquel on s'est arrêté de compléter les enrochements par voie de rechargements successifs au fur et à mesure des besoins, et de conserver pour ce travail le chemin de fer de service.

Une décision ministérielle du 21 avril 1870, a autorisé la création d'une entreprise spéciale pour l'exécution de ces rechargements et approuvé un projet de bail triennal à raison d'une dépense annuelle de 50 000 francs.

VI. — Renseignements sur l'exploitation des carrières.

M. Villain-Moisnel et M. Delucca exploitèrent les carrières de Baus-Roux par le procédé ordinaire des petites mines.

MM. Sarlin et Rabattu introduisirent les premiers le mode d'exploitation, qui leur avait si bien réussi aux travaux du port d'Alger, celui des grandes mines par puits et galeries.

Ils tirèrent aux carrières de Baus-Roux et de la Gaude, plusieurs mines préparées dans ce système, présentant un développement de galerie de 15 à 25 mètres, et chargées de 1 500 à 2 000 kilogrammes de poudre.

La poudre employée par ces entrepreneurs était un mélange de poudre de mine, de *nitrate de soude*, de soufre et de charbon. Elle revenait meilleur marché que la poudre ordinaire.

Le cube des déblais produits par ce procédé variait entre 2 et 5 mètres cubes par kilogramme de poudre mélangée.

Cette proportion est plus faible que celle correspondant à l'exploitation par petites mines, laquelle est moyennement de 5 mètres cubes par kilogramme du même mélange.

Mais par compensation on n'a besoin que d'un petit nombre de mineurs, et le travail des bardeurs est considérablement facilité.

Au point de vue des dimensions des matériaux obtenus, il ne semble pas qu'il y ait une différence sensible dans les deux modes d'exploitation. L'un et l'autre ont donné à la Gaude la proportion moyenne de 2/5 d'enrochements pour 1/5 de moellons et 2/5 de débris.

Les tâcherons qui ont succédé à MM. Sarlin et Rabattu, pour la continuation des travaux en régie, ont repris les petites mines et la poudre ordinaire.

VII. — DÉLIMITATION DES TERRAINS CONQUIS.

Notre mémoire serait incomplet au point de vue historique, si nous passions sous silence une opération que l'on peut classer parmi les plus longues et les plus délicates, auxquelles ait donné lieu l'endiguement du Var ; nous voulons parler de la délimitation des terrains dépendant de la concession.

Aux termes de la soumission de MM. Boisset et de Jussieu, la reconnaissance de ces terrains devait être faite contradictoirement avec les intéressés, immédiatement après l'approbation de ladite soumission par l'autorité souveraine.

Dès que fut intervenu l'acte royal du 23 mai 1844,

deux géomètres, M. Lacroix, représentant la commission administrative, c'est-à-dire l'ensemble des intéressés, et M. Scoffier, représentant les concessionnaires, levèrent le plan de la rive gauche du Var et y indiquèrent la limite des graviers de propriété publique (Pl. 10, *fig.* 10).

Des affiches annoncèrent le commencement et la marche des opérations, afin que les intéressés pussent se rendre sur les lieux et y présenter leurs observations.

Il n'en fut produit qu'un petit nombre, généralement insignifiantes.

Une seule, relative aux terrains situés entre le pont en bois de Saint-Laurent et la mer, porta sur plusieurs hectares.

Les experts indiquèrent sur les plans les prétentions des parties, laissant à la *Délégation spéciale* le soin de dire droit.

Tels étaient les documents sur lesquels le gouvernement français, substitué aux premiers concessionnaires, devait s'appuyer pour déterminer la limite des terrains conquis.

Une commission composée d'un inspecteur des domaines et de l'ingénieur ordinaire, auteur du présent mémoire, fut chargée de ce travail, pendant les années 1866, 1867, 1868 et 1869.

Dans les communes de Saint-Martin, Saint-Blaise et Aspremont, la ligne des plans de 1845 fut acceptée de prime abord par les propriétaires riverains à quelques rectifications près.

Dans la commune de Nice, surgirent au contraire de graves difficultés.

Un grand nombre de propriétaires, s'appuyant sur ce que, même après 1845, et bien que leurs terrains eussent disparu à cette époque, emportés par les crues antérieures du Var, ils n'en avaient pas moins payé les taxes au consortium, tout comme s'ils fussent restés en possession desdits terrains, demandèrent que le bornage se fît suivant le

plan du consortium; d'autres allèrent plus loin, ils demandèrent que l'on délimitât suivant le cadastre de 1812.

Ces prétentions soulevèrent de longues discussions contentieuses dont les détails ne sauraient trouver place ici.

En raison de cette circonstance particulière que les terrains autrefois emportés par le Var s'étaient reconstitués entre le pont en bois de Saint-Laurent et la mer, on les rendit à leurs anciens propriétaires, et là on prit pour base de la délimitation le cadastre de 1812.

Mais sur les autres parties où la présence des graviers attestait la fréquence des envahissements du Var, la commission s'en tint à la ligne de 1845, et, après de longs pourparlers, elle est parvenue, moyennant quelques concessions de peu d'importance, à faire accepter cette ligne et à éviter tout procès.

VIII. — Résultats financiers et économiques de l'endiguement de la rive gauche du Var.

La dépense en capital, des travaux d'endiguement de la rive gauche du Var, s'est élevée à 7 432 000 francs, savoir:

	francs
1° Sous les premiers concessionnaires.	1 605 000
2° Sous la commission administrative.	39 000
3° Sous le gouvernement français.	5 788 000
Total.	7 432 000

Nous ne comprenons pas dans cette somme les indemnités à payer aux divers entrepreneurs que nous estimerons, en attendant la liquidation définitive, à 125 000 francs. Nous n'y comprenons pas non plus la dépense à faire pour le rechargement des enrochements, évaluée plus haut à 483 000 francs.

On peut dire que tous les travaux une fois terminés et

liquidés, la dépense faite atteindra, si elle ne le dépasse pas, le chiffre de 8 millions de francs (*).

Les résultats obtenus ont été les suivants :

Il a été créé une voie carrossable de 17 kilomètres de longueur donnant aux populations de la vallée du Var et des vallées secondaires de l'Estéron et la Tinée, un débouché sur Nice; 500 hectares de bois et de graviers ont été soustraits aux inondations et convertis en terres fertiles; plus de 1 000 hectares de terrains d'alluvion ont été préservés d'une ruine imminente ; enfin les cloaques d'où s'échappaient les miasmes fiévreux ont été comblés et la vallée assainie.

Au point de vue financier, ces résultats ne représentent pas à beaucoup près l'équivalent des dépenses faites.

En effet, les 500 hectares de terrains conquis, à 6000 fr. l'un, rapporteront à l'État, par l'aliénation qui en sera consommée à bref délai, 3 millions de francs, et en impôts de toute sorte, directs ou indirects, fonciers, etc..., en droits de mutation, de succession, etc..., évalués à raison de 50 francs par hectare et par an, 25 000 francs, soit en capital 500 000 francs.

Les 17 kilomètres de route représentent une valeur de 850 000 francs, à 50 000 francs l'un. C'est ce qu'il aurait fallu dépenser pour établir une route à flanc de côteau, si on n'eût pas fait l'endiguement.

(*) Ce chiffre ne représente, comme nous le disons, que les dépenses en capital : le montant des travaux supposés payés au moment même où ils ont été exécutés. Mais il n'exprime pas à lui seul le montant des déboursés de l'État français. Car, par le fait de sa substitution aux concessionnaires, il a dû payer, en exécution de l'arrêt de la cour des comptes du 16 février 1857, plus de 1 500 000 francs d'intérêts. Il est vrai que, d'un autre côté, il lui a été porté en déduction diverses sommes et en particulier la subvention de 540 000 francs promise à l'origine par les divers intéressés. (Voir les arrêts du conseil d'État du 11 août 1868 et 29 juin 1869.)

Enfin l'État retirera de la conservation des 1 000 hectares de l'embouchure des impôts annuels que l'on peut évaluer à 50 000 francs, en admettant les mêmes bases d'évaluation que ci-dessus, soit en capital 1 million de francs.

Ainsi, en argent, le gouvernement retrouvera dans l'entreprise un capital de 5 350 000 francs, savoir :

	francs.
1° Aliénation des terrains conquis.	3 000 000
2° Impôts de ces terrains.	500 000
3° Construction d'une route.	850 000
4° Impôts des terrains garantis à l'embouchure.	1 000 000
Total conforme.	5 350 000

Le revenu de l'opération est donc bien loin d'en couvrir les frais.

Mais les entreprises de l'État ne doivent pas seulement être appréciées par les résultats immédiats en argent qu'elles produisent.

Le trésor ne cherche pas à faire pour lui-même des spéculations.

Ce qui, dans les grands travaux de l'espèce, caractérise l'intervention du gouvernement, c'est de créer pour toute une région des conditions meilleures, d'y augmenter la fortune et le bien-être des particuliers en facilitant leurs relations, en développant autour d'eux la fécondité du sol, la salubrité de l'air.

Dans le cas actuel, la première partie de ce programme aurait certainement pu être réalisée à meilleur marché; mais quels résultats pouvait-on en attendre, en l'isolant de la seconde? Une route à flanc de côteau dans la fiévreuse vallée du Var aurait semblé n'avoir été établie que pour permettre de traverser plus rapidement et de fuir ces lieux empestés. Placée sur une digue, au milieu du lit du fleuve, elle devenait au contraire une artère de circulation et de vie; la transformation qui s'opérait à son abri garantissait les populations existantes contre les atteintes d'un mal re-

doutable, et conviait au défrichement et à la culture des terrains conquis toute une population nouvelle. Le gouvernement français, toujours à la recherche des améliorations agricoles et sanitaires, est donc resté fidèle à ses principes en prenant à sa charge la continuation des travaux d'endiguement ; son généreux concours a déjà rapporté ses fruits et le succès de l'œuvre ne peut plus être aujourd'hui l'objet d'un doute ; l'endiguement dessert une circulation des plus actives ; toute la partie haute est convertie en champs ou en prés et les fièvres ont disparu des villages voisins qu'elles désolaient autrefois. Encore quelques années et la transformation s'étendra jusqu'à l'embouchure du fleuve.

Bienfait immense et bien au-dessus du sacrifice accepté par l'État !

Nice, le 29 juin 1871.

N° 16

NOTE

Sur l'emploi de la dynamite au brisement des glaces.

Par M. GOBIN, ingénieur des ponts et chaussées.

La persistance et l'intensité du froid de la saison actuelle ont produit sur quelques points du Rhône, dans la traversée de Lyon, des amoncellements de glaces qui menaçaient sérieusement les nombreux établissements flottants stationnant sur le fleuve et pouvaient occasionner de graves sinistres au moment de la débâcle, si le dégel était brusque et coïncidait avec une petite crue du fleuve.

Préoccupé de cette situation, j'ai fait, les 16 et 17 décembre, des essais sur l'emploi de la dynamite pour briser les glaces et déblayer le chenal de navigation. Ces expériences ont été faites en aval du pont Lafayette et en face de la manufacture des tabacs, avec le concours de M. Grenier, entrepreneur de travaux publics et dépositaire de la dynamite de la fabrique de Paulille (Pyrénées-Orientales); les résultats obtenus sont vraiment extraordinaires, et j'ai pensé que, dans les circonstances actuelles, il y aurait quelque utilité à faire connaître cette nouvelle application de la dynamite, et surtout les dispositions spéciales à prendre pour obtenir un maximum d'effet (Pl. A, fig. 1 à 20).

L'explosion des cartouches placées sur la glace et recouvertes d'une couche de sable ou de mortier d'argile, pro-

Fig. 1. Entaille à la hache pour placer le boudin



Fig. 2. Disposition du boudin dans l'entaille



Fig. 3. Disposition de la cartouche sous-marine



Fig. 4. Plan d'un boudin.

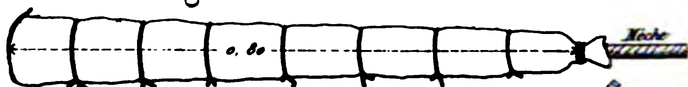


Fig. 5. Coupe longitudinale d'un boudin.

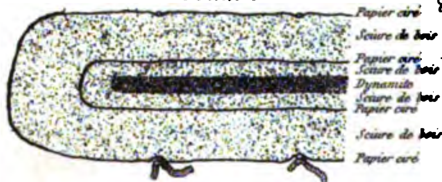


Fig. 6. Coupe d'une cartouche sous-marine

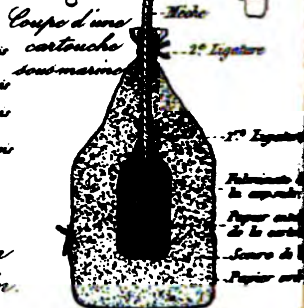


Fig. 7. Effet d'une explosion obtenue au moyen d'un boudin.

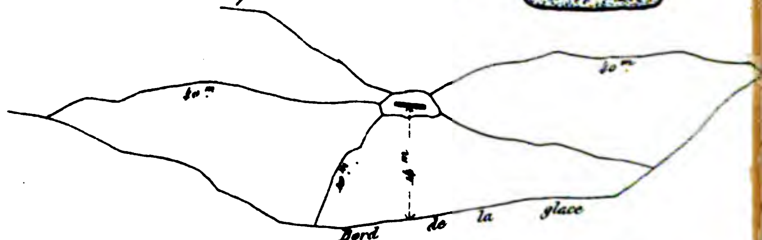


Fig. 8. Autre exemple.

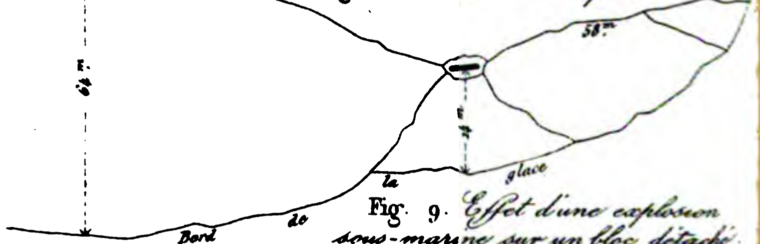
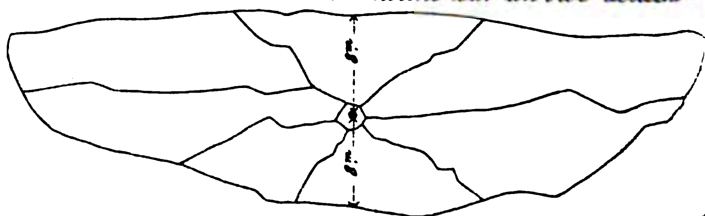


Fig. 9. Effet d'une explosion sous-marine sur un bloc détaché.



duit un simple trou sans longues fentes, même suivant la ligne de moindre résistance, résultat qui est conforme, du reste, à l'action et aux effets ordinaires de cette matière. Pour détacher de gros blocs de glace d'une masse occupant une large surface, il faut produire une pression presque horizontale dirigée du côté du bord ; j'ai atteint ce but de la manière suivante :

A 14 mètres du bord libre de la glace qui, dans mes expériences, présentait une section franche de 18 à 20 centimètres d'épaisseur, j'ai pratiqué à la hache, parallèlement à ce bord, une entaille de 1 mètre de longueur et de 4 à 5 centimètres de profondeur, présentant une section en forme de V, la face la plus voisine du bord étant verticale tandis que l'autre était en talus très-doux (*fig.* 1). La dynamite a été renfermée dans un boudin de 80 centimètres à 1 mètre de longueur, entouré de sciure de bois et de papier ciré pour éviter la gelée (*fig.* 4 et 5) ; cette cartouche ainsi confectionnée et amorcée, a été placée dans l'entaille, contre la face verticale, puis recouverte d'une couche de sable de 3 à 4 centimètres d'épaisseur plus chargée du côté du talus, afin de diriger la force explosive sur la face verticale (*fig.* 3).

L'explosion produisit alors plusieurs fissures qui étaient généralement parallèles au bord de la glace et qui avaient 40 à 50 mètres de longueur de chaque côté (*fig.* 7).

J'ai même obtenu une explosion qui a donné une fissure de 58 mètres de longueur d'un côté et 160 mètres de l'autre (*fig.* 8).

La charge de chaque boudin n'était que de 210 grammes de dynamite n° 3.

Les blocs ainsi détachés sont donc énormes, puisqu'ils mesurent de 100 à 200 mètres quarrés de surface en trois ou quatre morceaux. Si l'on tient à les diviser davantage, on emploie le mode suivant qui m'a très-bien réussi (*fig.* 3, 6 et 9).

ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES

CHRONIQUE.

Mai 1872.

ASSAINISSEMENT MUNICIPAL.

Quantité de matière azotée expulsée chaque jour de Paris.

Note par M. Alfred DURAND-CLAYE, ingénieur des ponts et chaussées.

Les études relatives à l'assainissement municipal de la ville de Paris nous ont conduit aux résultats résumés ci-dessous, qui présentent un double intérêt :

1° Ils donnent une idée de la masse de matières insalubres produites par l'agglomération de près de 2 millions d'habitants, matières qui en même temps représentent un élément considérable de fertilisation agricole, anéanti jusqu'ici en pure perte.

2° Ils établissent une concordance frappante entre des données empruntées à des sources complétement indépendantes les unes des autres, et démontrent, en particulier, la valeur qui doit être accordée aux analyses chimiques consciencieusement exécutées, telles que les livre spécialement le laboratoire de l'École des ponts et chaussées, ouvert si libéralement aux ingénieurs et même au public.

Les détritus, expulsés chaque jour de Paris, comprennent les *vidanges*, les *eaux d'égout*, les *ordures ménagères* ou *gadoues*. La matière azotée contenue dans ces détritus peut servir de mesure

Fig. 1.

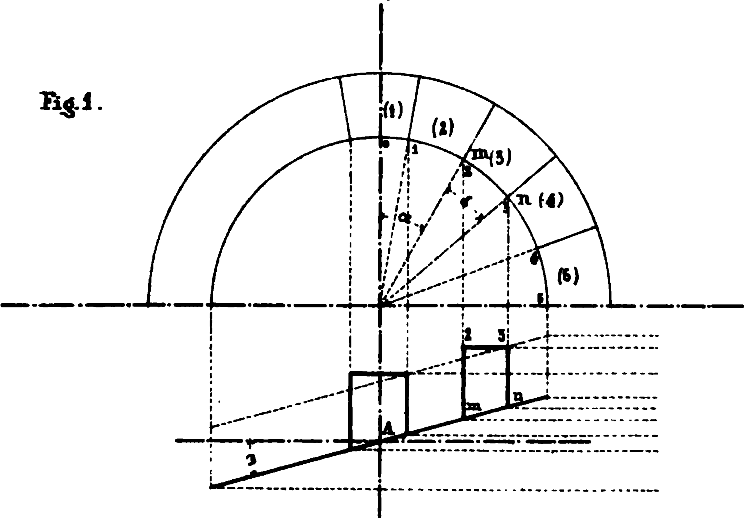


Fig. 2.

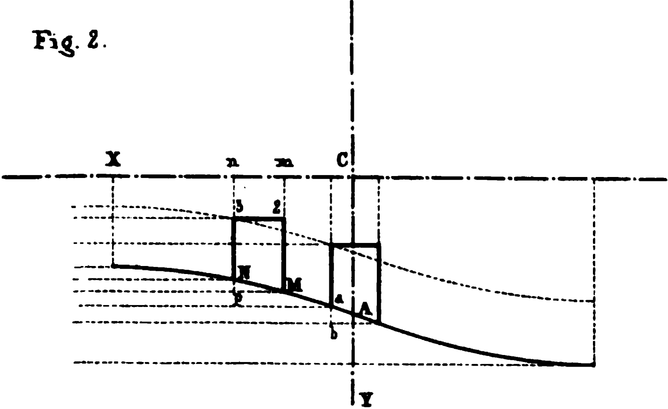
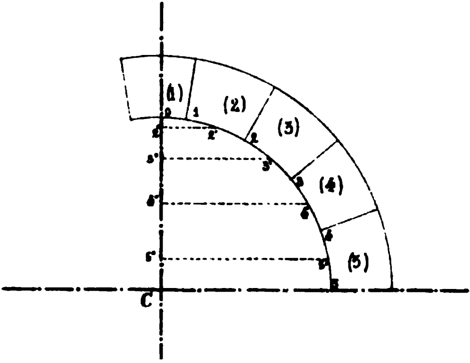


Fig. 3.



approximative, d'une part, pour leur insalubrité, d'autre part, pour leur valeur comme engrais. Le tableau suivant rapproche les quantités et les compositions relatives à chacune de ces classes de détritus. Les quantités sont empruntées aux documents officiels de l'administration municipale et à nos recherches personnelles; les analyses ont été faites presque exclusivement par le laboratoire de l'École.

Quantité et composition des détritus produits à Paris par jour.

INDICATION DES MATIÈRES.		QUANTITÉS.	TENEUR en azote de l'unité.	TENEUR en azote des quantités journalières.	TENEUR en azote des totaux partiels.
Vidanges.	Matières envoyées à la voirie de Bondy à l'état liquide.	mèt. cubes. 1 605	kilogram. 3.67	kilogram. 5 890	kilogram. 6 717
	Solides des systèmes diviseurs.	17	30.00	510	
	Solides des achèvements de fosse. . . .	19.80	16.00	317	
Eaux d'égout.	Collecteur de Clichy. . .	218 664	0.043	9 402	12 350
	Collecteur de Saint-Denis.	43 978	0.067	2 948	
Ordures ménagères.	Cube enlevé par tombereau	1 100	5.55	6 105	6 105
Quantité *totale* d'azote par jour.					25^k172

OBSERVATIONS. — Ces chiffres, ainsi que les suivants, s'appliquent à l'année 1869, dernière année de service régulier. On a défalqué, dans la composition des eaux du collecteur de Saint-Denis, l'azote des eaux-vannes de Bondy, déjà compté à l'article vidanges.

Pour l'année entière, la quantité d'azote s'élève à $25\,172^k \times 365 = 9\,187\,780$ kilogrammes.

En comparant ce chiffre à la composition moyenne du fumier à l'état normal (4 kilogrammes, par tonne, d'azote), on voit que la ville de Paris vomit annuellement une quantité de matière azotée équivalente à celle que renfermeraient 2 593 890 tonnes ou 2 600 000 tonnes, en nombres ronds, de fumier. Il convient, en outre, de remarquer que, dans l'état actuel, la moitié de cette matière azotée se trouve renfermée dans les eaux d'égout, les vidanges ne repré-

sentant que le quart du total et n'ayant qu'une importance sensiblement égale à celle des ordures ménagères.

D'autre part, M. l'ingénieur en chef Mangon, s'appuyant sur les très-intéressantes recherches statistiques de M. Husson, aujourd'hui secrétaire général de la préfecture de la Seine, était arrivé à reconnaître que les substances de toute sorte, consommées annuellement par l'ancienne population de Paris, évaluée avant l'annexion à 1 053 262 habitants, contenaient, par an, 5 278 000 kilogrammes d'azote. Pour l'année 1869, c'est-à-dire après l'annexion, le chiffre de la population était de 1 825 274 habitants, soit l'ancien chiffre 1 053 262 multiplié par 1,733. En appliquant cette même proportionnalité aux substances consommées et par suite aux matières azotées, on trouve pour ces dernières le chiffre de 9 146 774 kilogrammes.

La concordance entre ce dernier résultat, provenant de l'analyse et de la statistique des substances *introduites* dans la capitale, et le résultat précédent 9 189 780 kilogrammes provenant, au contraire, de l'analyse et de la statistique des détritus *expulsés*, est réellement remarquable. La différence entre ces deux résultats est en effet de 9 187 780 — 9 146 774 ou de 41 006 kilogrammes seulement pour l'année entière et est moindre que 1/2 centième de l'un ou l'autre chiffre.

La loi générale en vertu de laquelle se maintient forcément pour les êtres humains l'équilibre entre les subtances absorbées et expulsées se trouve ainsi vérifiée sur une vaste échelle, et cette vérification n'était pas, nous l'espérons, indigne de l'attention de nos camarades.

Tracé des panneaux de douelle des voussoirs des voûtes biaises à section droite circulaire, lorsqu'elles sont appareillées comme les voûtes droites.

Note par M. JOURJON, ingénieur des ponts et chaussées.

Cette note a pour objet une construction géométrique des panneaux de douelle des voussoirs des voûtes biaises en plein cintre ou en arc de cercle, lorsqu'elles sont appareillées comme des voûtes droites : la construction est applicable seulement lorsque la section droite des voussoirs est circulaire et constante. Le panneau de section droite est toujours aisé à calculer et à tracer : ce panneau et le panneau de douelle sont seuls nécessaires et suffisants pour la taille, et le procédé que j'indiquerai en donnant le panneau de douelle permettra d'économiser une épure en vraie grandeur et l'aire en planches nécessaire pour l'épure.

Pour l'intelligence de ce qui suit, je trace une élévation sur la section droite (Pl. B), une projection horizontale et un développement de l'intrados; je définis en même temps la notation employée.

Soient :

R le rayon de l'intrados : *co* ou *c*5;

s l'arc *mn* ou épaisseur constante des voussoirs à l'intrados;

ε l'arc au centre correspondant à l'arc s;

α l'angle au centre correspondant à l'arc *om*;

$x = \mathrm{C}m$;

$y = m\mathrm{M}$;

$y_0 = \mathrm{CA}$;

$\omega =$ l'angle du biais;

(1) (2) (3) etc. les numéros des voussoirs.

Il est évident qu'un panneau de douelle quelconque 32MN est suffisamment connu si l'on parvient à déterminer la petite quantité N*p*, différence des deux ordonnées 2M et 3N, et que j'appelle biais du panneau; il est facile de calculer qu'à la clef cette petite quantité ou ce biais est égale à $ab = 2\mathrm{R} \times \mathrm{tg}\,\omega \times \sin \frac{1}{2}\varepsilon$.

La construction géométrique du biais d'un panneau quelconque est la suivante (*fig.* 3) :

Avec $\mathrm{C}o = ab = 2\mathrm{R}\ \mathrm{tg}\,\omega \sin \frac{1}{2}\varepsilon$ comme rayon, ou avec le biais du panneau de la clef, je décris la circonférence C*o*, et à partir du

point o je divise cette circonférence comme la section droite a été divisée pour le tracé des voussoirs; puis je prends le milieu des intervalles 12, 23, 34 et 45. Par les points milieux 2′ 3′ 4′ 5′, je mène les perpendiculaires 2′2″, 3′3″, 4′4″, 5′5″ : les longueurs Co, C2″, C3″, C4″, C5″ sont les quantités cherchées ou biais des voussoirs (1), (2), (3), (4), (5).

Comme le biais du panneau de clef n'atteindra jamais $0^m.20$, il est facile de faire l'épure dans le cabinet.

Je vais démontrer que cette construction géométrique est exacte.

En effet, il est facile de trouver (voir les *fig.* 1 et 2) :

Pour la sinusoïde les équations $\begin{cases} y = y_0 + R \times \operatorname{tg}\omega \times \sin\alpha ; \\ x = R\alpha ; \end{cases}$

Pour la valeur de Np résultant des équations ci-dessus :

$$Np = R \times \operatorname{tg}\omega \times [\sin(\alpha + \varepsilon) - \sin\alpha]$$

Pour la valeur de Np résultant de la construction géométrique (*fig.* 3)

$$Np = 2R \times \operatorname{tg}\omega \times \sin\frac{1}{2}\varepsilon \cos\left(\alpha + \frac{\varepsilon}{2}\right),$$

expression identique à la précédente.

Pratiquement, on remplacera la petite quantité $2R \operatorname{tg}\omega \sin\frac{1}{2}\varepsilon$ par $\varepsilon \operatorname{tg}\omega$, qui en est généralement la valeur approchée à moins de $\frac{1}{200}$.

Cette construction est la traduction géométrique de la propriété analytique qu'ont le sinus et le cosinus de se reproduire mutuellement dans leurs différentielles ou leurs différences finies : cette propriété permet, en effet, de substituer à la sinusoïde de développement dont le tracé nécessite une grande épure sur une aire spéciale, une sinusoïde que l'on peut tracer sur le papier avec les compas d'un usage habituel, parce que ses ordonnées sont les différences successives des ordonnées de la première correspondant aux divers voussoirs.

J'ai été conduit à ce résultat en calculant les panneaux de douelle d'une tête biaise appareillée en voûte droite.

LE COTON-POUDRE EN ANGLETERRE.

Commission spéciale du coton-poudre, etc.

RAPPORT PRÉLIMINAIRE (*).

13 décembre 1871.

La Commission nommée par le ministre de la guerre pour examiner certaines questions relatives à l'emploi et à la fabrication du coton-poudre est assez avancée dans ses recherches pour pouvoir faire un rapport préliminaire sur plusieurs points qu'il importe particulièrement d'éclaircir dans un court délai.

Les différentes questions que la Commission avait à étudier étaient celles-ci :

1° Si l'emploi du coton-poudre présente des risques ou des dangers tels que l'administration de la guerre doive en abandonner la fabrication et cesser de l'employer aux usages pour lesquels il a été considéré jusqu'ici comme particulièrement précieux ;

2° Si la fabrication de cette substance, dans ses différents états, est une opération dangereuse, qui ne doive pas être effectuée dans le voisinage des habitations, et s'il paraît nécessaire d'ajouter quelques précautions à celles qui sont en vigueur maintenant ;

3° S'il y a nécessairement du danger à emmagasiner le coton-poudre, humide ou sec, soit à terre, soit à bord des navires, par toutes les températures ou seulement dans certaines conditions ;

4° Si, pur ou impur, le coton-poudre est sujet à prendre feu spontanément, et, le cas échéant, si l'inflammation serait accompagnée d'une explosion ;

5° Quel est le genre de bâtiment qui convient le mieux pour l'emmagasinage.

La Commission devait en outre donner son avis sur toutes autres questions qui pourraient surgir dans le cours de ses recherches et sur lesquelles elle jugerait utile d'appeler l'attention.

Enfin M. Cardwell exprima le désir que la Commission, pour répondre à un vœu du ministre de l'intérieur, étudiât à part, au double point de vue du transport et de l'emmagasinage, le degré de sécurité qu'offre la substance appelée *litho-fracteur*.

(*) Traduction du secrétariat de la commission des *Annales*.

La Commission a pensé, au début de ses travaux, qu'elle devait concentrer son attention sur le premier des points qui lui étaient soumis, car si les renseignements qu'on recueillerait montraient que l'emploi du coton-poudre dans le service militaire présente des risques ou du danger, il en résulterait que la fabrication doit être abandonnée; et par suite il deviendrait inutile de s'occuper de l'emmagasinage, de l'éventualité d'inflammation spontanée et du meilleur genre de construction à adopter pour les magasins.

La Commission s'est mise au courant de tous les rapports officiels qui ont été jusqu'à présent fournis sur les applications pratiques du coton-poudre, notamment le rapport du Comité du génie (*Royal Engineer Committee*) en date du 3 août 1870, rapport qui lui a fourni de précieux renseignements. Elle en a trouvé d'autres près des officiers du génie sous la direction desquels des expériences ont été faites pour l'application du coton-poudre aux mines de guerre, aux démolitions et aux explosions sous-marines. On a consulté encore d'autres personnes diversement familiarisées avec l'exploitation des mines et des carrières.

L'opinion générale qui ressort de toutes ces sources d'information est très-favorable, en ce qui concerne la sécurité et la facilité d'emploi, l'emmagasinage et le transport, au coton-poudre comprimé.

Les officiers qui ont déposé devant la Commission sont :

Sir J. Lintorn Simmons, autrefois commandant de l'École du génie militaire à Chatham ;

Le colonel Lennox, professeur des opérations à exécuter sur le terrain (*Field operations*), à Chatham ;

Le capitaine Home, secrétaire du Comité du génie ;

Et le lieutenant Anderson, secrétaire de la Commission des torpilles.

La Commission, après un examen attentif des documents qu'elle possède et des renseignements qui lui ont été fournis, principalement en ce qui concerne les applications militaires, est d'avis que non-seulement l'usage du coton-poudre est exempt de risques ou de danger, mais que la substance même, en tant que matière explosive, produit des effets énergiques et assurés, et qu'elle est transportable et d'un emploi facile. La Commission, conséquemment, croit pouvoir exprimer une grande confiance dans le coton-poudre appliqué au service militaire et aux explosions sous-marines.

Relativement à l'emmagasinage, les officiers qui ont employé le coton-poudre à Chatham et ailleurs n'ont encore acquis qu'une

expérience limitée; mais ils n'ont pas constaté que la matière s'altérât durant une période de douze mois.

Les renseignements sur la fixité (*stability*) d'une substance qu'on n'applique que depuis un temps assez court se bornent nécessairement à peu de chose, le temps formant un élément essentiel de détermination pour cette importante qualité.

Cependant la Commission remarque que des quantités considérables de coton-poudre ont été envoyées depuis deux ou trois ans dans des pays chauds et humides, qu'elles ont supporté les voyages de l'Australie et des Indes sans qu'aucun accident paraisse s'être produit. D'autre part, du coton-poudre fourni par la Compagnie de Stowmarket durant l'été de 1870 et mis en dépôt sur la Tamise, a été subséquemment expédié à Calcutta, où il est emmagasiné depuis quelques mois. Or un rapport récemment reçu du colonel Kennard établit que ce coton-poudre ne montre aucun indice d'altération.

Les rapports publiés en Autriche donnent des renseignements très-satisfaisants sur la fixité du coton-poudre. Ces rapports, ainsi que les recherches approfondies qu'a faites et publiées M. Abel, sont trop étendus pour qu'on les discute ici; mais, en corroborant les autres renseignements, ils donnent à la Commission la conviction qu'aucune appréhension d'instabilité ne doit porter à discontinuer l'emploi du coton-poudre comprimé.

La Commission a examiné un très grand nombre d'échantillons de coton-poudre dont plusieurs, laissés impurs à dessein, avaient été emmagasinés à Woolwich depuis quelques années (plusieurs remontent à neuf ans) et diversement exposés à la lumière, à la chaleur et aux changements de température. Leur parfait état de conservation confirme pleinement l'idée que, dans les circonstances ordinaires tout au moins, le coton-poudre peut être regardé comme une matière stable.

Il est à remarquer que les observations qui s'appliquent à une longue période ont été faites sur du coton-poudre en forme de corde ou d'écheveaux, c'est-à-dire à l'état lâche, bien différent de celui des disques en pâte comprimée que donne le système de M. Abel. Mais, comme la Commission s'est assurée que le coton-poudre obtenu avec du coton à longue soie ne peut être aussi bien purifié que le coton-poudre en pâte, il s'ensuit que tous les renseignements qui établissent la fixité du coton-poudre à l'état lâche s'appliquent à bien plus forte raison au coton-poudre comprimé.

En ce qui concerne la fabrication, la Commission s'est mise au courant des différents procédés qui constituent le système de

M. Abel. La matière, depuis le moment où elle est convertie en coton-poudre jusqu'à celui où on la dessèche, reste dans un état humide, et elle contient encore de 15 à 20 p. 100 d'eau au moment où elle sort de la presse. Dans les différentes phases qu'elle traverse elle est hors d'état de prendre feu; par suite la Commission pense que, sauf le séchage, la fabrication peut être opérée partout sans danger, à l'intérieur ou à l'extérieur des villes.

Le séchage, tel qu'on le pratique à Stowmarket, paraît offrir quelques inconvénients. La Commission ne les discutera pas en ce moment, mais elle suppose qu'on y remédiera aisément par quelque méthode sûre et simple, applicable à toutes les localités.

En conséquence, la Commission émet sans hésiter l'avis qu'il n'y a pas de raisons pour que l'administration de la guerre abandonne la fabrication du coton-poudre comprimé.

C. W. YOUNGHUSBAND, *colonel*, *président*.

LE NIVELLEMENT DE PRÉCISION DE LA SUISSE (*).

Le nivellement général de la France a été entrepris en vertu d'une décision du ministre des travaux publics en date du 16 août 1858, et terminé en 1865, sous la direction de M. Bourdaloue. Il était essentiellement destiné à fixer, pour les divers services des ponts et chaussées, un plan unique de comparaison et à procurer sur le sol de toute la France de nombreux points de repère rapportés à ce plan unique. Une décision ministérielle du 13 février 1860 a défini ce plan de comparaison à 0.40 au-dessus du zéro de l'échelle des marées du port de Marseille, et admis qu'il correspondait au niveau moyen de la mer Méditerranée.

Les opérations, faites avec un soin remarquable, ont donné des résultats intéressants au point de vue scientifique. M. Bourdaloue a constaté en premier lieu que, à l'Est de Lyon, les repères inscrits sur la carte d'État-major étaient erronés de 3^m.40 environ. Ainsi la côte admise pour le repère du pont de Tilsitt était de 163 mètres au-dessus du niveau de l'Océan, tandis que d'après le nivellement général de la France, il est à 160^m.383 au-dessus du plan de comparaison adopté par la décision ministérielle du 13 février 1860, et par suite, comme nous allons le voir, à 159^m.583 au-dessus du niveau moyen de l'Océan.

En second lieu, le nivellement général de la France en rattachant entre elles les hauteurs admises, comme niveau moyen de la mer dans les ports de l'Océan et de la Méditerranée, a fait reconnaître des différences importantes entre ces hauteurs. La différence est de 0.811 entre le port du Havre et celui de Brest, et la hauteur du niveau moyen de l'Océan, déduite des altitudes des niveaux observés dans dix-huit ports, depuis Bayonne jusqu'à Dunkerque, se trouve de 0^m.80 au-dessus du plan de comparaison correspondant au niveau moyen de la Méditerranée à Marseille. Cette dénivellation entre les deux mers est sans doute plus apparente que réelle; elle est due en grande partie à l'action des vents régnants; ce sont les vents de terre sur la Méditerranée et au contraire les vents du large sur l'Océan; les pressions barométriques habituelles et l'inégalité de la densité de l'eau des deux mers peuvent

(*) *Nivellement de précision de la Suisse*, exécuté par la commission géodésique fédérale, sous la direction de A. Hirsch et E. Plantamour. 1re, 2e et 3e livraisons. — Genève et Bâle, Georg, libraire-éditeur, 1867-1868-1870.

encore servir à expliquer une différence de hauteur qui en réalité ne doit pas être celle qu'accusent les nivellements. Malheureusement cette question n'a pas été jusqu'à présent l'objet d'une discussion scientifique, basée sur des observations précises et suffisamment prolongées. On ne peut pas dire que la lumière soit faite encore à ce sujet.

L'inégalité de hauteur du niveau moyen de la mer dans les différents ports de l'Océan est due sans doute à des causes analogues, auxquelles vient s'ajouter l'irrégularité dans les oscillations du flux et du reflux, produite par la configuration des côtes. On sait jusqu'à quel point la configuration des côtes influe sur l'amplitude de la marée; il est tout naturel qu'elle agisse aussi sur la hauteur moyenne que la mer occupe dans ses mouvements successifs d'élévation et de dépression.

De plus, il ne paraît pas que tous les ports de l'Océan aient été pourvus de marégraphes avec appareils enregistreurs, seul moyen d'établir rigoureusement le niveau moyen de la mer; aussi le mode d'observation adopté dans plusieurs de ces ports laisse planer une incertitude regrettable sur la valeur scientifique des résultats qui ont servi de base aux comparaisons de hauteurs faites par M. Bourdaloue.

Quoi qu'il en soit, l'importante entreprise du nivellement général de la France m'avait frappé par les services qu'elle devait rendre au point de vue technique, non moins que par ses conséquences au point de vue scientifique, et je m'empressai de porter à la connaissance de la Société Vaudoise des sciences naturelles, dès la fin de l'année 1859, les premiers résultats que je pus me procurer à ce sujet : j'exprimai le désir que la Suisse fît un travail de nivellement analogue à celui qui se faisait en France, et je rapportai, d'après les opérations de M. Bourdaloue, la correction que devaient subir les altitudes inscrites sur la carte fédérale. Les cotes du niveau du lac de Genève et du repère de la pierre du Niton étaient en effet de 3m.417 trop élevées, comme celle du pont de Tilsitt à Lyon. La hauteur moyenne du lac devait être fixée à 372m,362 au-dessus du plan de comparaison adopté en France, et cette cote devait remplacer celle de 375 mètres, ordinairement inscrite sur les cartes Suisses.

Ces renseignements ne furent pas perdus pour les personnes qui, en Suisse, s'intéressent aux progrès des sciences naturelles, et en particulier pour M. le colonel Burnier de Lausanne et M. le professeur Plantamour, directeur de l'observatoire de Genève, qui s'étaient adonnés depuis quelques années d'une manière spéciale à l'étude des questions hypsométriques.

Dans le courant de l'année 1862, je pus communiquer à M. Burnier les résultats donnés par la comparaison des niveaux moyens de la mer dans les ports de l'Océan et de la Méditerranée ; leurs hauteurs relatives venaient d'être déterminées exactement par M. Bourdaloue, et les différences, que j'ai rappelées plus haut, étaient établies d'une manière incontestable.

A la suite de ces communications, la question du nivellement général de la Suisse fut à l'ordre du jour dans diverses sociétés scientifiques de ce pays, et en 1864, grâce à l'initiative de MM. Burnier et Plantamour, une commission géodésique fut nommée par le gouvernement fédéral, et chargée de proposer les mesures qu'il conviendrait de prendre à ce sujet.

Cette commission, sur le rapport de M. Hirsch, directeur de l'observatoire de Neuchâtel, reconnut que les altitudes des repères qui avaient servi à l'établissement de la carte fédérale partaient d'une base erronée, et que leur détermination par la triangulation ne présentait pas des garanties suffisantes d'exactitude. Elle décida qu'il y avait lieu de faire un nivellement de précision entre Genève et Bâle, Lucerne et Romanshorn, et d'établir le long des lignes de nivellement des repères pareils à celui de la pierre du Niton, et de rattacher ces repères à ceux du réseau Français et, autant que possible, à ceux des autres États limitrophes. La commission choisit, comme plan de comparaison provisoire pour tous les nivellements Suisses, celui qui passe par la plaque de bronze de la pierre du Niton à Genève; elle fut d'avis que le moment n'était pas encore venu, où l'on pourrait corriger avec sûreté les altitudes Suisses, et que le choix de la mer dont le niveau moyen servira de plan général de comparaison devait être réservé à une commission géodésique internationale. Enfin la commission chargea M. Hirsch de proposer à la conférence géodésique internationale, qui eut lieu à Berlin au mois de septembre 1864, d'adopter les mesures nécessaires pour obtenir dans toute l'Europe centrale un vaste réseau de nivellement de précision reliant entre elles les différentes mers.

Après de longues et sérieuses discussions, les travaux du nivellement de la Suisse, furent commencés en 1865, sous la direction de MM. Hirsch et Plantamour. Le choix de ces deux savants professeurs peut faire juger du cachet particulier imprimé aux opérations. Le nivellement général de la France est l'œuvre d'ingénieurs soigneux et consciencieux ; il a été entrepris dans un but technique plutôt que scientifique. Le nivellement de la Suisse, sous la direction de deux astronomes, revêt un caractère presque exclusivement scientifique. Les instruments, les procédés d'opération sont

l'objet d'observations précises, les corrections sont établies à l'aide de calculs rigoureux, qui semblent ne plus laisser place à aucune cause d'erreur. Aussi les promoteurs de l'entreprise ont pu intituler le résultat de leurs travaux : *Nivellement de précision de la Suisse.*

Il me sera permis toutefois de regretter que la commission ait choisi pour plan de comparaison provisoire le niveau du repère de la pierre du Niton à Genève. Une partie du territoire de la Suisse est à une altitude moindre que le lac de Genève ; dès lors, les cotes d'un certain nombre de repères sont négatives. Ainsi le zéro de l'échelle du Rhin à Bâle est à la cote — 129.686 par rapport au repère de la pierre du Niton.

Ce plan de comparaison est provisoire, il est vrai, mais le provisoire pourra durer longtemps, et l'emploi des cotes négatives ne laissera pas de causer des désagréments dans la pratique. On les eût évités en prenant un plan de comparaison plus bas, et dans ce cas, on pouvait sans inconvénient prendre, à titre provisoire, le plan de comparaison adopté en France, en faisant toutes réserves au sujet de sa valeur scientifique, et au sujet des corrections qu'une nouvelle vérification pourrait apporter à la hauteur de la pierre du Niton au-dessus du zéro du port de Marseille.

La commission, ne trouvant pas que le niveau de la mer admis dans le système français fût déterminé assez rigoureusement, a craint de se trouver engagée par le fait de l'adoption de ce plan de comparaison, fût-il seulement provisoire. Ces craintes me paraissent exagérées ; dans tous les cas, il eût mieux valu prendre le point de départ à Bâle plutôt qu'à Genève. Mais sans doute la notoriété donnée au repère de la pierre du Niton par les travaux du général Dufour, de Genève, a pesé dans la balance plus que les considérations purement techniques.

Les opérations de nivellement ont été commencées en 1865. La commission a fait connaître par des publications successives, en 1867, en 1868 et en 1870, les procédés employés et les résultats obtenus jusqu'à ce jour.

Les relevés sur le terrain ont été faits avec deux instruments fabriqués par M. Kern d'Aarau : les nivellements étaient faits le plus ordinairement en suivant les côtés d'un polygone, dont la fermeture dispensait de répéter les opérations deux fois sur la même ligne. Les feuilles d'observation étaient envoyées chaque soir simultanément aux observatoires de Genève et de Neufchâtel où les calculs de réduction étaient faits à double, puis comparés et vérifiés toutes

les fois qu'ils étaient en désacord de plus d'un dixième de millimètre.

Les ingénieurs ont employé, autant que possible, la méthode du nivellement depuis le milieu, pour rendre les résultats indépendants des erreurs instrumentales, de l'influence de la dépression de l'horizon et de la réfraction. Néanmoins, les instruments ont été construits de manière que la lecture de la mire donnât la distance avec une exactitude suffisante pour que l'on pût déterminer facilement les erreurs instrumentales en cas de besoin. Le calcul permet alors d'éliminer l'influence de ces erreurs sans s'astreindre à l'égalité rigoureuse des distances de la mire, et sans être obligé de faire la lecture de la mire dans les quatre positions de l'instrument, procédé lent et dont l'exactitude repose sur une hypothèse, à savoir la constance des corrections de l'instrument pendant qu'on le manie.

Le réticule de la lunette porte trois fils horizontaux : l'espace embrassé sur la mire par les fils extrêmes combiné avec leur distance angulaire, déterminé une fois pour toutes, fait connaître la distance de la mire, et si l'on réduit la moyenne des trois fils au fil du milieu, on obtient par la moyenne des trois évaluations la position de l'axe de la lunette sur la mire avec la plus grande exactitude.

Je n'entrerai pas dans le détail des prescriptions imposées aux opérateurs, ni dans l'exposé des méthodes de calcul à l'aide de tables de réduction pour déterminer rigoureusement la hauteur des repères successifs. Tous ces renseignements sont exposés dans la publication faite par M. Hirsch et Plantamour. Mon but a été de faire connaître l'opération entreprise en Suisse, à l'imitation de ce qui s'est fait en France, et les résultats intéressants obtenus sous la direction éclairée des deux savants directeurs des observatoires de Genève et de Neuchâtel.

Ces résultats nous intéressent particulièrement en ce qu'ils permettent de contrôler l'exactitude des nivellements du réseau Français. Le repère établi à Saint-Louis, près de Bâle, a été rattaché au repère de la pierre du Niton, ainsi que deux repères placés dans le Jura, l'un à la Cure, près des Rousses, l'autre sur le perron de l'hôtel de ville de Morteau, dans le département du Doubs.

D'après le nivellement Suisse, l'altitude du repère Français à Saint-Louis serait de $0^m.079$ trop basse : les différences seraient de $0^m.356$ et de $0^m.114$ dans le même sens pour les repères des Rousses et de Morteau. D'où viennent ces différences ? Les erreurs sont-elles du fait des ingénieurs Français ou des opérateurs Suisses ?

Nous allons voir que les observations faites par ces derniers démontrent que l'erreur doit être imputée au nivellement Français, et qu'elle doit être attribuée au défaut d'étalonnage des mires et à leur variation de longueur sous l'influence des actions atmosphériques.

En effet, MM. Hirsch et Plantamour, voulurent comparer de la manière la plus rigoureuse leurs mires parlantes. Ces mires sont des planches en bois de sapin très-sec, d'une longueur de 3 mètres, d'une largeur de $0^{m}.08$ et de $0^{m}.022$ d'épaisseur, avec une nervure dorsale de $0^{m}.048$ de hauteur sur $0^{m}.20$ de largeur, destinée à leur donner plus de rigidité. Elles ont été construites avec le plus grand soin, et cependant elles ont accusé des différences qui allaient jusqu'à $1^{mm}.255$. Elles ont été comparées, au moyen de microscopes grossissant vingt fois, avec l'échelle métrique du bureau des poids et mesures de Berne, dont le coefficient de dilatation et l'équation par rapport au mètre-étalon du Conservatoire des arts et métiers de Paris avaient été parfaitement déterminées.

En tenant compte de la correction de l'échelle et de la température, les mires ont été trouvées trop longues, l'une de $0^{mm}.808$, et l'autre de $0^{mm}.404$ par mètre de longueur.

De plus, les ingénieurs suisses reconnurent que la longueur des mires variait sensiblement dans le cours d'une année et d'une année à l'autre. Ils s'en assurèrent par des expériences directes répétées en 1867, en 1868, en 1869 et en 1870. La variation de l'une des mires a été de $0^{mm}.285$ par mètre, celle de l'autre de $0^{mm}.302$ par mètre.

En résumé, le défaut d'étalonnage et la variabilité des mires employées en Suisse pouvait affecter les résultats des nivellements d'une erreur allant jusqu'à $0^{mm}.7$ par mètre de hauteur, et pouvant être proportionnelle à la différence de niveau des points considérés; aussi les chiffres donnés par les opérations sur le terrain ont été affectés d'une correction provenant de l'équation des mires, et de leur variabilité.

Les mires employées en France ont-elles été construites avec plus de soin et mieux étalonnées que celles de Suisse ? C'est peu probable. Dans tous les cas, il est certain que les ingénieurs Français ne se sont nullement préoccupés de la variabilité de longueur de leurs mires, phénomène sur lequel l'attention n'avait jamais été appelée avant les recherches de MM. Hirsch et Plantamour.

Or, si l'on suppose que ces mires aient obéi aux influences atmosphériques dans la même proportion que celles des ingénieurs

Suisses, les chiffres des repères Français peuvent être affectés d'une erreur allant jusqu'à 0m,0007 par mètre d'altitude.

Par conséquent, la différence de niveau entre Saint-Louis et la pierre du Niton étant de 119m.292, l'erreur due à la mire pourrait s'élever à 0m,083. Nous avons vu plus haut qu'elle est estimée à 0m.079 par les auteurs du nivellement de précision de la Suisse.

De même les erreurs sur les repères de la Cure et de Morteau qui sont, l'un à 775m.214, et l'autre 398m.92 au-dessus du repère de la pierre à Niton, pourraient s'élever pour l'un à 0m,5425 et pour l'autre, à 0m.2786. Elles seraient respectivement de 0m.356 et 0m.114 d'après le nivellement de la Suisse.

Ces résultats m'ont paru très-intéressants pour les ingénieurs Français. Ils indiquent la mesure de la précision sur laquelle nous pouvons compter pour nos repères de nivellements, et ils ont fait entrer une donnée nouvelle dans la science de la mesure directe des hauteurs à l'aide du niveau à bulle d'air et à lunette. MM. Hirsch et Plantamour ont rendu un véritable service à cette science en introduisant dans la pratique des nivellements une précision qui paraissait jusqu'alors exclusivement réservée aux opérations astronomiques.

JULES MICHEL.

Lyon, le 20 mai 1872.

BIBLIOGRAPHIE.

OUVRAGES FRANÇAIS.

Dupuy de Lôme. — Aérostat à hélice construit pour le compte de l'État, sur les plans et sous la direction de M. Dupuy de Lôme. Note remise en décembre 1871 à la commission chargée de suivre les essais, puis lue à l'Académie le 5 février 1872. In-4°, 83 pages, 9 planches. Paris, imp. Firmin Didot frères, fils et Ce.

Extrait du tome 40 des Mémoires de l'Académie des sciences.

Notice géologique et météorologique sur le département de l'Orne, par M. Sartiaux, ingénieur des ponts et chaussées. 1 vol. in-8°. Alençon, 1871.

De l'arrosage pratique, canal d'irrigation de Lestelle (Haute-Garonne). Description, avec 3 planches, par H. Tranié, conducteur des ponts et chaussées faisant fonctions d'ingénieur. Toulouse, Gimet, libraire, 1871.

Les ports-chenaux et Port-Saïd, par le commandant Alexandre Cialdi. Paris, Baudry, éditeur, 1870.

Taine. — Philosophie de l'art; par H. Taine. Leçons professées à l'École des beaux-arts. 2e *édition*. In-18 jésus, 177 pages. Paris, imp. Martinet; lib. Germer Baillière. 2 fr. 50 c. (4 mai.)

Guide théorique et pratique du contribuable en matière de contributions directes; par J.-E. Isoard, sous-chef de bureau au ministère des finances. 11e *édition*. 1 fr. 50.

OUVRAGES ANGLAIS OU AMÉRICAINS.

Austin's (C. E). Cleansing of rivers. — Du curage des rivières.

Rankine's (W. H. M.) Manual of civil engineering. — Manuel de l'art de l'ingénieur, par Rankine. 8e *édition*.

Lyell's (sir Charles.) Principles of geology. — Principes de géologie, de Lyell, 11e *édition*, entièrement nouvelle.

Jellett's (J. H.) Treatise on the theory of friction. — Traité sur la théorie du frottement.

Davidson's (Ellis A.) Drawing for brick-layers. — Dessins de maçonnerie de briques.

Johonnot (James). Maisons d'école; dessins d'architecture exécutés par S. E. Hewes. in-8°. — A New-York, chez J. W. Schermerhorn et Ce.

N° 17

PRIX DÉCERNÉS

PAR DÉCISION MINISTÉRIELLE DU 31 JUILLET 1872,

Conformément à la circulaire du directeur général des ponts et chaussées du 28 janvier 1835,

Aux auteurs des meilleurs mémoires publiés dans les Annales des ponts et chaussées

EN 1869 (*) :

MÉDAILLE D'OR DE 600 FRANCS

A M. Paul REGNAULD, ingénieur des ponts et chaussées, pour son mémoire (n° 209) sur la construction du viaduc métallique de Bordeaux, désigné sous le nom de viaduc de Paludate.

DEUX MÉDAILLES D'OR DE 300 FRANCS

1° A M. LEFERME, ingénieur en chef des ponts et chaussées, pour son mémoire (n° 227) sur l'envasement et le dévasement du port de Saint-Nazaire;

2° A M. LAMAIRESSE, ingénieur en chef des ponts et chaussées, pour son mémoire (n° 136) sur les irrigations de l'Inde.

MENTION HONORABLE

A M. RICOUR, ingénieur des ponts et chaussées, pour son mémoire (n° 215) sur le tube d'inversion ou la machine locomotive transformée en générateur de chaleur pour produire l'arrêt des trains.

(*) Les prix décernés pour l'année 1868 ont été indiqués dans le cahier de février 1872.

N° 18

DESCRIPTION D'UN BARRAGE

Exécuté sur la rivière du Verdon et de la prise d'eau du canal du Verdon en Provence.

Par M. DE TOURNADRE, ingénieur en chef des ponts et chaussées.

CHAPITRE PREMIER.

DISPOSITION GÉNÉRALE DES TRAVAUX.

Détails sommaires sur le canal du Verdon. — Un décret, en date du 20 mai 1863, a concédé à perpétuité à la ville d'Aix en Provence le droit de dériver de la rivière du Verdon, un des principaux affluents de la Durance, un volume de 6 mètres cubes par seconde pour le service dès irrigations et l'alimentation des habitants et aussi pour les besoins de l'industrie.

Cette faculté a été rétrocédée pour quatre-vingt-dix-neuf ans à MM. Dussard et Sellier, dont nous avons dirigé les travaux pendant cinq ans, après avoir présenté le projet du canal à exécuter pour conduire les eaux dans la commune d'Aix et dans douze autres communes des départements du Var, des Basses-Alpes et des Bouches-du-Rhône. Ces travaux, qui embrassent la construction de la branche mère sur 82 kilomètres de longueur, de branches secondaires sur 150 kilomètres et d'un réseau de rigoles de distribution de 550 kilomètres, ne sont pas tout à fait terminés.

Tous les ouvrages principaux sont cependant finis et l'on

procède à la mise en eau du canal principal. Nous nous abstiendrons pour le moment de les décrire, et notre seul but aujourd'hui est d'indiquer les dispositions réalisées pour exécuter sur le Verdon le barrage qui élève les eaux de cette rivière au niveau de la prise adoptée.

Barrage de prise d'eau. — Les difficultés considérables rencontrées à l'occasion de ce travail, les procédés employés pour les vaincre et les résultats obtenus sont de nature à présenter quelque intérêt. Les barrages exécutés dans ces dernières années soit au Furens, soit à Ternay, et les mémoires remarquables dont ils ont été l'objet dans les *Annales*, ne nous laisseraient rien à dire sur ce sujet, si le barrage du canal du Verdon était établi dans des conditions semblables. Mais il s'agit ici, non d'un réservoir avec retenue insubmersible, mais d'un mur submersible élevé en travers d'une rivière torrentielle d'un régime des plus variables, dont les crues s'élèvent à 1 200 mètres cubes par seconde et qui se trouve encaissée entre des roches à pic.

Ces conditions nous ont paru assez exceptionnelles pour motiver une notice, et justifier son insertion dans un recueil presque exclusivement destiné à de bienveillants camarades.

Régime du Verdon. — Le Verdon se jette dans la Durance à 10 kilomètres environ à l'amont du défilé de Mirabeau; il a sa source dans les versants élevés des Alpes et est un des plus forts affluents de la Durance. Sa pente, à partir d'Aiguines, est de $0^m,003$ par mètre; son débit, qui se réduit à 10 mètres cubes par seconde en étiage, s'élève à 1 200 mètres cubes dans les grandes crues. Ses eaux sont généralement limpides, cependant elles charrient encore beaucoup de limon pendant les crues, et le relevé des observations faites depuis dix ans accuse environ quatre-vingt-dix jours de troubles par année.

Conformation de la vallée du Verdon. — Le lit de la rivière se trouve fréquemment encaissé entre des roches cal-

caires taillées à pic sur des hauteurs de 50 à 60 mètres, et c'est à l'extrémité inférieure d'une de ces gorges profondes, près du village de Quinson, dans le département des Basses-Alpes, que le canal du Verdon dérive les eaux nécessaires à son alimentation. Ce défilé se prolonge à l'amont sur 12 kilomètres de développement dans les mêmes conditions; et pour y atteindre le niveau nécessaire à la prise, soit la cote 372m.50 au-dessus du niveau de la mer, il eût fallu entailler le canal dans ces flancs presque verticaux sur un parcours de 4 à 5 kilomètres au prix de dépenses et de difficultés considérables. Nous décidâmes, en conséquence, d'amorcer le canal vers la sortie de ces gorges en relevant la rivière au niveau voulu, et fûmes ainsi conduit à adopter un barrage de 12 mètres de hauteur au-dessus du lit existant.

Emplacement choisi pour le barrage. — Dans cette partie des gorges, les versants sont presque à pic, distants l'un de l'autre de 35 à 40 mètres au plus et formés de bancs calcaires assez régulièrement stratifiés.

Quelques sondages avaient été faits dans le lit de la rivière pour constater l'existence du rocher et sa profondeur au-dessous de l'étiage, mais cette opération, effectuée avec des moyens incomplets, n'offrait pas une garantie suffisante. Dans une rivière torrentielle comme le Verdon charriant des graviers, des moellons et même des blocs qui se détachent assez souvent des flancs escarpés dont elle est bordée, la sonde ne donne jamais un résultat bien certain.

Il parut cependant ressortir de cette expérience et de quelques observations recueillies à l'occasion des travaux d'une retenue en blocs existant à 125 mètres au-dessous, que l'on devait trouver le rocher solide à 5 à 6 mètres au-dessous de l'étiage; la forme des versants à leur pied, les caractères de la roche et la direction des bancs corroboraient ces prévisions.

Conditions de stabilité à donner à la retenue des eaux pour la prise. — Rien n'était à négliger pour donner au barrage

une stabilité parfaite, car de cet ouvrage dépend toute l'alimentation du canal et le fonctionnement des nombreux et importants intérêts qui s'y rattacheront un jour.

La première condition à remplir consistait à asseoir solidement la construction sur le rocher et à recourir aux matériaux les plus résistants.

Ces considérations firent écarter immédiatement la pensée de constituer la retenue à l'aide d'un massif de blocs échoués en lit de rivière. On avait sous les yeux une preuve de l'impossibilité matérielle de rien obtenir de stable avec un pareil système; les moulins de Quinson ont un barrage de ce genre établi sur la rivière à 125 mètres à l'aval du point choisi par nous, et malgré le jet de blocs énormes arrachés des flancs de la vallée depuis trente ans, leur alimentation a toujours été précaire. A chaque crue, le Verdon bouleverse ces blocs et les repousse à l'aval où le lit en basses eaux montre un tapis de ces énormes pierres éparses dans les graviers. En été, au contraire, et lorsque les eaux sont basses, on a la plus grande peine à dériver du Verdon le volume de 400 litres par seconde nécessaire aux moulins, bien que la rivière débite toujours au moins 10 000 litres; toute cette eau s'échappe à travers les vides de la retenue, et ce n'est qu'à l'aide de batardeaux en bois et planches, qu'on entretient péniblement l'eau à la prise, ces ouvrages volants étant emportés à chaque crue. En présence de pareilles difficultés pour une dérivation de 400 litres et un relèvement de niveau de 2m.50 environ, il eût été dérisoire de vouloir constituer suivant les mêmes errements un barrage de 12 mètres de hauteur pour dériver 6 000 litres par seconde.

Forme, profil et nature du barrage. — En conséquence, on dut proposer de faire le barrage-déversoir en maçonnerie et de le fonder sur le rocher, en encastrant soigneusement les épaulements dans les flancs de la vallée, et enfin de remplacer par du béton tout le massif de gravier inférieur au niveau du lit jusqu'au rocher.

Le peu de largeur de la vallée nous conduisit à donner au mur la forme curviligne, étant convaincus de l'influence de la courbure sur la résistance à la poussée par l'exemple d'un barrage construit dans les environs d'Aix dont la stabilité ne peut guère s'expliquer autrement (voir la note A).

Nous avons donc disposé le barrage du Verdon suivant une courbe en arc de cercle de 36 mètres de corde et de 5m.80 de flèche pour toute la partie au-dessus du massif des fondations. Celui-ci a, au contraire, été établi suivant une direction rectiligne normale à l'axe de la rivière; il a 15 mètres d'épaisseur et repose sur le pourtour en rocher formant le plafond de la vallée. Vers le milieu, le rocher n'a été rencontré qu'à 6m.30 de profondeur et le dessus du massif a été arrasé à 1m.14 en contre-haut de l'étiage.

Dimensions du barrage. — Le mur-barrage affecte une section trapézoïdale ayant 9m.91 à la base et 4m.32 au sommet. Du côté d'amont le parement est vertical avec une retraite de 0m.25 à 1m.75 au-dessus de la base; du côté d'aval son inclinaison totale est de 4m.43 et se décompose jusqu'à 6m.10 de hauteur en quatorze assises de 0m.30 à 0m.36 de hauteur, inclinées à 1/5 et formant des saillies qui vont en diminuant à mesure qu'on s'élève. Au-dessus, le parement est rectiligne avec la même inclinaison de 1/5. (Voir la planche II, *fig.* 7.)

Le couronnement est formé d'une assise de pierres de taille assemblées avec précision, scellées entre elles par des tenons en fer. Son épaisseur est de 0m.75 avec saillie de 0m.20 sur le parement aval et de 0m.05 sur celui d'amont. La hauteur du mur est de 12m.25 au-dessus de l'étiage et de 11m.39 par rapport à sa base sur le massif des fondations dans lequel il s'encastre de 0m.34. Ce dernier varie entre 6 et 7 mètres de hauteur sur l'axe de la rivière et va en diminuant vers les bords. En ajoutant ces deux hauteurs, on arrive à 18 mètres pour celle de la construction complète, du sol des fondations au couronnement du barrage.

Les dispositions indiquées ci-dessus ont été adoptées après avoir appliqué au profil le calcul des pressions et s'être assuré théoriquement qu'en aucun point du profil, cette pression ne dépasserait 6 kilogrammes par centimètre quarré.

Conditions admises pour le calcul des dimensions du barrage. — Nous avons supposé le cas le plus défavorable à la résistance, celui d'une crue de la rivière débitant 1 200 mètres cubes. En appliquant à cet écoulement les formules ordinaires, on arrivait à admettre que la lame d'eau déversant par-dessus le barrage aurait une épaisseur de 5 mètres au-dessus du couronnement et donnerait lieu à une tuméfaction à l'amont de $2^m.38$.

L'expérience d'une crue à peu près égale survenue depuis l'achèvement des travaux a prouvé que ces résultats du calcul basé sur les formules ordinaires étaient assez exacts.

La résistance était représentée par : 1° le poids du mur à raison de 2 200 kilogrammes le mètre cube ; 2° le poids de l'eau sur l'assise du parement d'amont ; 3° celui de la lame d'eau passant sur le couronnement et supposée d'une épaisseur de 5 mètres.

On a négligé d'y comprendre la pression des eaux sur le parement d'aval, le poids des enrochements à échouer au pied du mur, et la contre pression des eaux d'aval.

Le débit de 1 200 mètres par seconde est un maximum, car à l'aide de profils en travers levés dans toute l'étendue de la gorge du Verdon depuis l'emplacement du barrage jusqu'aux plaines de Sainte-Croix situées à 12 kilomètres en amont, on a pu se rendre compte du débit de la crue de 1843, une des plus hautes connues.

En prenant le profil moyen de ce défilé assez uniforme dans sa largeur et dans sa pente, on est arrivé à fixer le débit de cette crue à 934 mètres, en suivant les formules du mouvement permanent varié données par M. Bresse.

Épaisseur de la lame d'eau déversant sur le couronnement. — Pour avoir la hauteur de la lame d'eau déversant par-dessus le barrage dans l'hypothèse d'une crue de 1 200 mètres, on a employé les formules $Q = 0,35 Ly\sqrt{2gy}$ et $h = 2/3y$, L désignant la longueur du déversoir ou la largeur du lit égale à $37^m.50$, y la charge inconnue sur le couronnement du déversoir, h celle de la lame déversant et Q le débit égal à 1 200 mètres.

Les calculs donnent $y = 7^m.524$. Cette valeur représente la hauteur de l'eau prise un peu à l'amont du déversoir, au-dessus du couronnement augmentée de celle due à la vitesse moyenne dans la section correspondante, que par une première approximation, au moyen des profils en travers levés, on trouve égale à 700 mètres, ce qui donne une vitesse $u_0 = 1^m.70$, et $\frac{u_0^2}{2g} = 0^m.147$; par suite on prendra

$y = 7^m.524 - 0^m.147 = 7^m.377$ ou $7^m.38$, et $h = \frac{2}{3}y = 4^m.92$, soit 5 mètres en nombre rond.

Évaluation de la poussée contre le barrage. — Les conditions de stabilité du mur ont été calculées sans tenir compte de la forme courbe donnée à la construction et en établissant la relation entre la poussée de l'eau et la résistance par mètre courant de barrage. Les filets d'eau étant sensiblement parallèles au-dessus du couronnement et la vitesse contre le parement amont à peu près nulle, la poussée totale a pour résultante une force horizontale F représentée en intensité par un trapèze d'eau ayant pour hauteur celle du parement du mur, ou $11^m.05$; pour base supérieure une longueur de $7^m.19$ et pour base inférieure $18^m.23$.

Le centre de gravité de ce trapèze se trouve à $4^m.80$ au-dessus de sa base, soit à $5^m.14$ sur celle du mur. Pour avoir l'intensité de la force qui tend au renversement, nous exprimerons dans l'équation suivante que F étant la force

inconnue égale à la projection horizontale de toutes les pressions que l'eau exerce sur le parement amont, l'accroissement de la quantité de mouvement de l'eau projeté sur un axe horizontal est egal à la somme des impulsions des forces extérieures projetées sur le même axe.

$$\varpi \times \frac{Q}{g}(V-u) = \frac{\varpi H^2}{2} - \frac{\varpi h^2}{2} - F.$$

$$\varpi = 1\,000^k.00, \qquad Q = \frac{1\,200^{m3}}{37.50}, \qquad H = 18.42, \qquad h = 5^m.00,$$
$$V = 6.40, \qquad u = 1.70.$$

En introduisant ces données numériques résultant des dispositions du mur ou de l'application des formules sur l'écoulement par déversoir, on arrive à avoir $F = 156\,040 - 15\,322^k = 140\,718$ kilog.

Evaluation de la résistance à la poussée. — Pour la résistance, sa valeur se déduit du métré du mur multiplié par le poids de 2 200 kilog. adopté pour le mètre cube de maçonnerie, de 2 600 kilog. pour celui du couronnement, et enfin du volume de la portion du massif d'eau pesant sur la saillie de $0^m.25$ exsitant à la base du parement. On arrive ainsi à un poids de 158953 kilog. à appliquer au centre de gravité qui se trouve sur une verticale passant à $3^m.23$ du parement amont.

Pression maxima à la base du mur. — En composant cete force P avec celle F trouvée ci-dessus, on a une résultante dont la direction rencontre la base du mur à $1^m.87$ de l'angle le plus saillant sur le parement d'aval. Si la pression de 158953 kilog. était uniformément répartie sur la base du mur qui a $9^m.92$, elle serait de $1^k.60$ par centimètre quarré; mais on sait qu'elle ne se distribue pas ainsi et que son intensité va en augmentant à partir du point de rencontre de la résultante. La pression maxima à l'angle extrême est égale à $p = \frac{2}{3} \times \frac{158\,953}{10\,000 \times 1.87} = 5.67$. En

faisant les mêmes calculs pour les angles correspondant aux diverses retraites au-dessus, on voit que la pression n'y atteint jamais 6 kilog. par centimètre quarré.

Le rapport entre la poussée de l'eau et la résistance offerte par le poids du mur arrive à 0.88 un peu supérieur au chiffre de 0.76 admis généralement pour coefficient de frottement de maçonnerie, et en faisant abstraction de la cohésion des mortiers, hypothèse qui ne s'accorde guère avec la pratique des constructions. On peut donc dire que le mur-barrage est dans de bonnes conditions de stabilité tant au point de vue de la résistance au renversement que de celle qu'il oppose au glissement sur sa base.

Les calculs précédents laissent d'ailleurs une marge considérable en ce sens qu'on y a négligé des éléments de résistance assez notables et qu'on a au contraire donné à la poussée les développements que comportent les cas les plus défavorables.

Nature des maçonneries. — Le massif des fondations est en béton avec mortier de chaux du Theil et sable du Verdon. Il repose entièrement sur le rocher et forme saillie de 1m.50 sur le parement amont du mur, et de 3m.29 sur le pied de celui d'aval. On a ainsi donné beaucoup plus de stabilité à la construction soit au point de vue de la poussée, soit à raison des affouillements qu'entraîne nécessairement la chute des eaux qui en temps de crue constitue une cascade de près de 28 mètres de hauteur.

Les enrochements échoués en avant du massif accroissent les conditions de sécurité, à la charge d'être fréquemment rechargés à la suite des crues.

Le mur au-dessus du massif est formé d'une maçonnerie de moellons bruts extraits des roches voisines, avec mortier de chaux du Theil et sable du Verdon.

Sur le parement d'aval, seuls les moellons sont taillés avec bossage brut, assisés horizontalement et choisis dans une carrière spéciale parmi les bancs les plus durs.

On attache depuis quelques années une grande importance à obtenir dans les massifs une parfaite homogénéité en recourant à des matériaux de même dimension, et cette recherche est sans aucun doute motivée dans la plupart des cas.

Si nous n'avons pas cru devoir nous renfermer dans cette règle, c'est que pour le barrage du Verdon, la forme du profil adoptée pour le parement d'aval impliquant des assises en saillie, ne permettait pas l'emploi des moellons bruts.

L'action énergique de corrosion donnée aux eaux par leur chute sur le parement, principalement dans sa partie inférieure, motivait en outre l'emploi de pierres très-dures et aussi celui de leur assemblage à joints précis. Le prix du mètre cube de maçonnerie du mur a été compté à raison de 20 francs, et celui des moellons du parement aval à 45 francs.

Couronnement du barrage. — Le couronnement est composé d'une seule assise en pierres de taille de 0^{m}.75, formant en plan six cours de voussoirs, scellés entre eux par des tenons en fer forgé. Exposée à l'action incessante d'eaux souvent chargées de sables et de limon, et entraînant après elle des bois flottants de grande dimensions, cette partie du barrage a dû être l'objet de précautions exceptionnelles. Le premier cours de voussoirs du côté d'amont est relié au massif inférieur par des tirants en fer scellés dans des moellons de forte dimension engagés dans le parement et situés à 1^{m}.55 au-dessus du couronnement.

Un léger surhaussement de 0^{m}.10 donné vers la rive opposée à la prise du canal facilite l'adduction des eaux en temps d'étiage.

Le prix de revient de cette pierre de taille a été de 70 francs le mètre cube mis en place.

Le barrage a été soigneusement encastré dans des fouilles ouvertes à 1^{m}.50 et 2 mètres de profondeur sur les deux

versants en rocher, préalablement purgés de toutes les parties ébranlées ou fissurées.

Sur la demande du service des inondations qui avait projeté à 6 kilomètres en amont un barrage devant former une retenue, soit pour retarder les crues, soit pour emmagasiner un certain volume d'eau destiné à augmenter le débit de la rivière pendant les deux mois d'étiage, on avait étudié un système de vidange placé au niveau du lit du Verdon. Reconnaissant la difficulté de pratiquer ces ouvertures dans le corps même du barrage, nous avons été conduit à les installer sur le bord de la rivière à l'entrée d'une galerie souterraine débouchant à l'aval. Cette circonstance, jointe à celle où nous plaçait la conformation des lieux, a déterminé pour la prise d'eau du canal des dispositions particulières dont nous allons décrire les données principales.

Prise d'eau du canal.—Le canal, dès son origine, traverse le flanc abrupte du Verdon contre le barrage par un souterrain de 70 mètres de longueur entaillé à 15 ou 20 mètres de l'escarpement et en courbe. On a maintenu du côté de la rivière un massif de rocher revêtu de maçonnerie extérieurement et percé de quatre ouvertures de 1^{m}.20 de largeur et de 1^{m}.50 de hauteur de pied-droit, avec demi-cercle de 0^{m}.60 de rayon (*fig.* 1, Pl. 12), qui constitue la prise même du canal.

Le seuil de ces ouvertures est établi à 1^{m}.50 au-dessous du couronnement du mur, hauteur correspondant au tirant d'eau normal du canal et abstraction faite de l'épaisseur de la lame d'eau, d'ailleurs très-mince, qui en étiage passera sur ledit couronnement.

Trois de ces ouvertures seulement sont nécessaires pour débiter les 6 mètres cubes par seconde formant la dotation du canal; la quatrième sera utilisée en cas de réparation de l'une des trois autres; elle assure en même temps la symétrie à donner à la tête de la prise. (Voir la Pl. 12, *fig.* 1).

Le milieu de cette façade de la prise est occupé par un avant-corps dont le vide intérieur se prolonge à travers la roche jusqu'au plafond de la rivière, à l'entrée d'une galerie souterraine latérale au Verdon, et qui permet d'évacuer une partie de ses eaux. La largeur de cette galerie a été divisée à l'aplomb du canal en trois ouvertures de $0^{m}.95$ de largeur, armées de vannes en fer dont les tiges s'élèvent jusqu'aux appareils de levage placés sur la plate-forme de la prise.

Cette plate-forme, couronnée à $8^{m}.80$ au-dessus du seuil du canal, soit à $1^{m}.50$ par rapport au niveau des grandes crues, a une longueur de $12^{m}.40$ et une largeur de $4^{m}.80$; elle contient aussi les appareils de levage des vannes de prise d'eau (Pl. 12, *fig.* 3 et 5).

Le mur de prise n'a qu'une épaisseur minime, et masque seulement les irrégularités de la roche escarpée, dont il forme le revêtement et qui sert elle-même de massif.

On a entaillé en arrière de ce massif une tranchée constituant la cage d'un escalier qui s'élève des bajoyers ou banquettes du canal au niveau de la plate-forme pour le service des manœuvres.

Un autre escalier descend de la plate-forme sur le couronnement du barrage; il est pratiqué contre l'escarpement.

Les vannes de prise sont en fonte avec nervures quadrillées; le tablier a 4 millimètres d'épaisseur et les nervures 20 millimètres en moyenne. La hauteur est de 2.30 sur 1.20 de largeur, s'encastrant par les bords dans des rainures creusées dans la pierre des montants sur $0^{m}.05$ de profondeur avec garniture en bois. Les tiges de levage ont 6 millimètres de diamètre; elles se terminent en crémaillère engrenant avec un pignon et roues dentées.

Vannes de vidange.—Les ouvertures laissées au-dessous de la prise au niveau de la rivière pour l'écoulement des graviers et limons venant d'amont sont au nombre de trois

ayant $0^m.95$ de largeur sur $1^m.64$ de hauteur sous clef; chacune est armée d'une paire de vannes en fonte. (Voir Pl. 12, *fig.* 1, 3 et 4.) Cette double fermeture a pour but de remédier aux cas d'accidents. Elle correspond à des tiges différentes qui, à l'aide d'un désembrayage, communiquent l'une ou l'autre avec l'appareil de levage disposé au sommet de l'avant-corps. Une série de roues dentées permettent la manœuvre à l'aide de deux hommes appliqués aux manivelles.

Ces vannes sont distantes de $0^m.80$, glissant dans des rainures ; ce sont celles d'aval qui constituent la fermeture permanente, les autres n'étant destinées à servir que pour les cas de ruptures ou d'accidents. (Voir la Pl. 12, *fig.* 1 et 3).

Il nous paraît inutile de décrire plus longuement les dispositions adoptées pour la prise d'eau, et la vue des dessins joints à cette notice supplée facilement et avantageusement aux détails qui peuvent manquer à notre exposé. En relatant le mode d'exécution des travaux et les divers incidents qui ont accompagné la construction, nous reviendrons forcément sur certaines dispositions de ces ouvrages.

CHAPITRE II.

MODE D'EXÉCUTION DES TRAVAUX.

Fondation du barrage. — L'obligation de fonder le barrage sur le rocher à des profondeurs de 6 à 7 mètres au-dessous de l'étiage du Verdon, dont les crues s'élèvent jusqu'à 1 200 mètres cubes par seconde et se produisent aux époques les plus diverses, n'a pas été une entreprise ordinaire. La conformation des abords, cet étroit défilé encaissé entre des roches à pic, dépourvu de moyen d'accès et éloigné de tout atelier de construction ou de réparation de machine, augmentait encore les difficultés à vaincre, et sur

le refus de plusieurs entrepreneurs expérimentés, on dut se charger d'exécuter par voie de régie la majeure partie des travaux de fondation.

Création d'un chemin d'accès. — Le premier soin fut de créer un chemin d'accès, car l'espace si étroit dont on pouvait disposer sur l'emplacement choisi pour le barrage étant entièrement occupé par la rivière, les chantiers de fabrication du mortier, les dépôts de matériaux, les magasins, les ateliers d'outillage et tous les impediments de l'entreprise durent être établis en dehors de la gorge du Verdon, à l'origine d'une petite plaine où se trouve le village de Quinson, et formant comme un cirque entre deux défilés successifs à l'amont et à l'aval. Pour relier ces établissements au chantier de construction du barrage, un chemin de service fut construit au bord de la rivière, empiétant sur son lit, porté par des palées en charpente, et muni de rails sur lesquels des chevaux traînaient les matières à mettre en œuvre sur place. (Voir la Pl. 11, *fig.* 1.)

Ce chemin était établi au-dessus du niveau des crues du Verdon, mais malgré les soins qui furent pris pour le soustraire aux corrosions de la rivière, les palées fréquemment déchaussées donnèrent lieu à beaucoup de réparations.

Galerie de déviation des eaux. — L'accès de l'emplacement du barrage étant assuré, on chercha à s'installer de manière à creuser les fouilles de fondations sans être trop exposé à l'irruption des eaux. La déviation complète du Verdon était impossible en temps de crue, et pour des débits allant jusqu'à 1 200 mètres par seconde, encaissés entre des roches à pic de 60 à 80 mètres de hauteur. On se borna donc à ouvrir de chaque côté de la rivière des galeries souterraines de déviation pouvant débiter chacune 100 mètres cubes par seconde environ. Ces souterrains, creusés dans le rocher, avaient 4 mètres de largeur sur 3 mètres de hauteur, et contournaient l'emplacement du bar-

rage de manière à prendre les eaux en amont pour les rendre à l'aval de la rivière.

En consultant le tableau journalier des hauteurs d'eau et des crues constatées sur le Verdon depuis une vingtaine d'années à l'échelle du pont de Quinson, on put en conclure que les crues de 200 mètres n'étaient pas très-fréquentes, ou que du moins le débit de la rivière était souvent inférieur à ce chiffre pendant trois ou quatre mois de suite. Le problème consistait donc à couler tout le massif des fondations dans une de ces périodes de calme; la chose n'était pas déjà aisée, et encore fallait-il que les circonstances atmosphériques ne vinssent pas déranger ce calcul.

Établissement d'un barrage-batardeau. — Afin de faciliter l'évacuation des eaux, un barrage-batardeau de 2^m.50 de largeur fut établi en travers de la rivière, d'une galerie de dérivation à l'autre, et devait amoindrir, sinon éteindre les filtrations dans la fouille à creuser. Une double file de pieux battus à la sonnette fut enfoncée dans le gravier, aussi bas que possible et au refus. La profondeur ainsi atteinte alla jusqu'à 9 mètres. L'intérieur de ce batardeau fut vidé du gravier qu'il contenait, et rempli par des couches successives de glaise bien pilonnée que l'on rechargeait au fur et à mesure du tassement. Ce batardeau servit en même temps de tête à une plate-forme en charpente portée sur des palées enfoncées dans le gravier et occupant l'espace libre entre le batardeau et le bord amont de la fouille projetée. C'est sur ce pont de service que devaient être installés l'outillage, les pompes d'épuisement, les machines et les manipulations qui ne pouvaient s'accomplir sur les ateliers établis en dehors de la gorge.

La plate-forme ainsi formée se trouvait au niveau du couronnement des pieux jointifs du batardeau à la cote 365.25, rapportée au niveau de la mer, soit à 3^m.50 au-dessus de l'étiage du Verdon avant l'exécution des travaux.

Elle donnait au chantier une surface libre de 30 mètres de largeur sur 5 mètres de longueur moyenne.

Dragage des fouilles de fondation. — Ces préliminaires étant terminés, on se mit en mesure de draguer tout l'espace à vider de gravier pour établir le massif de fondation après avoir battu à l'amont et à l'aval des lignes de pieux jointifs moisés à la tête et au-dessous, au fur et à mesure de la vidange. Malgré les précautions prises, les filtrations abondaient dans la fouille, on rechargeait sans cesse l'argile du batardeau, des hommes munis du scaphandre échouaient en amont des sacs remplis d'argile ou de chaux du Theil pour boucher les vides que les pieux soi-disant jointifs laissent toujours à la base, mais l'eau arrivait encore et gênait beaucoup le travail. Il avançait cependant, et l'on avait dragué plus de la moitié du cube lorsque vers la fin du mois d'août, époque normale des plus basses eaux, une crue violente survint à la suite d'un orage. Le Verdon surmontant le batardeau de 0m.50 malgré le fonctionnement des déviations, occasionna des dégats assez considérables, et dont le plus grave fut le renversement des palées en charpente qui soutenaient le chemin de service vis-à-vis la bouche aval de la galerie de déviation de la rive gauche. L'eau sortait avec une telle violence qu'elle déchaussa les charpentes et fit écrouler le chemin sur une longueur de 12 mètres. Ces dégâts furent réparés avec promptitude, et l'on se remit à l'œuvre, car les circonstances devenaient de plus en plus critiques par suite de l'approche du mois d'octobre, époque des grandes crues du Verdon.

Machine à draguer. — La drague employée pour l'enlèvement des graviers fonctionnait bien; elle était à montants verticaux de 10m.50 de longueur, et portait une chaîne à maillons quarrés sur laquelle étaient distribués 9 godets en fer de 40 litres de capacité chacun. Une locomobile de six chevaux donnait le mouvement à la machine desservie

par des hommes qui manœuvraient le tablier, dégageaient les maillons et charriaient en brouette les matières rejetées sur la plate-forme par le couloir de la drague. La nuit n'interrompait pas le travail, mais le ralentissait toujours un peu malgré l'éclairage du chantier; on draguait 150 mètres cubes par jour, quand on ne rencontrait pas de blocs ou gros moellons à travers le gravier, mais il ne fallait guère compter que sur une moyenne de 100 mètres. L'entrepreneur à qui on avait fourni la drague était tenu de l'entretenir, de la réparer et de la faire fonctionner; il recevait un prix de 11 francs par mètre cube dragué et jeté hors de l'enceinte de la fouille.

Arrivée des crues du Verdon. — Tous les efforts étaient concentrés en vue d'une accélération d'exécution qui permît d'arriver au but avant l'époque fatale des crues, et l'anxiété ne manquait pas dans l'esprit de ceux qui dirigeaient le chantier. Le temps devenait menaçant, des indices fâcheux se montraient à l'horizon, et déjà le 25 septembre une crue atteignit le sommet du batardeau et le dépassa même de quelques centimètres. Il n'en résulta pas d'avaries matérielles, il est vrai, mais cet incident entraîna une suspension d'action, une perte de temps alors qu'il était plus précieux que jamais. Le travail fut repris plus vivement encore; enfin la fouille était terminée, et on avait commencé le coulage du béton, lorsque le 24 octobre 1866 une crue considérable qui s'éleva à 4m.50 au-dessus de l'étiage à l'échelle du pont de Quinson, arriva avec une rapidité foudroyante, et détruisit en quelques heures le résultat de toute la campagne. L'eau s'élevant à 2m.50 au-dessus du batardeau, se précipita en cataracte à travers le chantier, démolit les échafaudages, bouleversa le pont de service, roula une machine à travers le lit du Verdon, jusqu'à 100 mètres, et enfin combla de nouveau de gravier toute l'excavation des fondations si péniblement ouverte.

Interruption des travaux. — Il fallut se résigner à ren-

voyer la continuation du travail à l'année suivante, mais aussitôt après les crues d'automne, on résolut de mettre à profit l'hiver de 1866 à 1867, pour exécuter une partie des travaux préliminaires de manière à diminuer la masse des ouvrages à faire pendant l'été de 1867. On répara donc, dès le mois de janvier, le pont et le chemin de service, le batardeau fut consolidé, la galerie et le chenal de déviation des eaux de la rive droite furent élargis et réparés.

Division de la fouille en trois zones. — L'expérience de la campagne précédente suggéra la pensée de diviser la fouille des fondations en trois zones, par des lignes de pieux jointifs battus perpendiculairement au sens de la rivière, de manière à scinder le dragage du gravier et le coulage du béton en trois parties. Ces opérations furent faites pendant l'hiver et non sans de nouvelles épreuves, car on eut encore à subir une crue en février, malgré toutes les garanties données par le tableau des observations, duquel il résultait que depuis vingt ans pareil fait ne s'était produit. Les avaries portèrent sur le pont et le chemin de service, elles furent réparées, et on suspendit les autres travaux à cause du voisinage des crues du printemps jusqu'en juillet 1867.

Reprise du dragage et du coulage du béton. — A cette époque, tout étant préparé, on se remit à l'œuvre énergiquement, car il n'y avait pas une minute à perdre pour éviter le renouvellement de ce qui s'était passé dans la campagne précédente. Le travail se trouvait d'ailleurs plus compliqué à cause de la détermination prise d'épuiser la fouille pour être parfaitement assuré de la présence du rocher. Les scaphandres donnaient des indications un peu vagues, l'eau était troublée par les infiltrations, et la présence de beaucoup de blocs trouvés au fond de l'excavation laissait planer une incertitude qu'il fallait dissiper, tant était grande l'importance d'une assiette solide pour une construction exposée à des forces de destruction aussi considérables.

Épuisements des fouilles de la fondation. — Malgré l'établissement du batardeau d'amont, les filtrations dans la fouille étaient de plus en plus abondantes, à mesure que l'on descendait, l'eau pénétrait, par l'aval, par les flancs mêmes du rocher qui séparaient les galeries de déviation de la rivière, et nous arrivâmes ainsi à l'emploi forcé de cinq pompes d'épuisement dont quatre à système rotatif centrifuge, et une du système Letestu plus spécialement affectée à l'enlèvement des eaux très-vaseuses. La facilité d'installation de ces engins a donné de très-bons résultats; chacun d'eux était animé par une locomobile, et nous avons pu enlever jusqu'à 9000 litres d'eau par minute. Cet épuisement a fait face, à diverses reprises, aux filtrations, et le rocher a été ainsi parfaitement mis à nu et constaté.

Après avoir dragué la zone d'aval, on a immédiatement commencé le coulage du béton, et pendant que cette opération s'exécutait, la drague transportée sur la zone d'amont poursuivait son œuvre sans interruption.

Coulage du béton en fondation. — Le coulage du béton confectionné sur la plate-forme du pont de service s'exécutait à l'aide de quatre caisses en tôle demi-cylindriques cubant chacune $0^{m}.40$, suspendues à des chaînes s'enroulant sur des treuils. Un chariot roulant sur une plate-forme élevée de 4 mètres au-dessus du pont de service, à l'aide de rails parallèles à la direction de la rivière permettait le mouvement d'amont en aval, *et vice versa.* L'ensemble portait à son tour sur trois rails placés au niveau du pont de service et sur des moises coiffant les lignes de pieux bordant la zone à remplir. On donnait ainsi le mouvement transversal qui, combiné avec le précédent, permettait de couler le béton sur tous les points de la zone. Chaque treuil des charriots était manœuvré par cinq hommes; les caisses descendues jusqu'au fond étaient ouvertes par un ouvrier placé sur la plate-forme, et on arrivait ainsi à couler le béton sans secousse, à sec ou dans une légère couche d'eau,

suivant le jeu des pompes, et par tranches horizontales, et le cube coulé pendant le jour s'élevait à 80 mètres au moins. Le massif fut arrasé à $0^{m}.50$ au-dessous de son niveau supérieur définitif, le reste étant réservé pour un coulage à la main à mener en même temps que la machine agissait ailleurs, et toujours pour marcher avec plus de rapidité. Pendant la nuit on préparait les matériaux, on apportait la chaux et le sable, on réparait les pompes et les machines, on se préparait enfin pour la journée du lendemain. Qu'on n'oublie pas d'ailleurs la conformation des lieux, l'éloignement des ateliers, les écarts de régime du Verdon, les crues imprévues et subites, le recrutement difficile des ateliers, enfin l'espace si restreint dont on disposait pour tirer parti d'un personnel d'ouvriers qui s'élevait jusqu'à 100, et ressemblait à une véritable fourmillière au milieu de ces masses imposantes de roches à pic, dans cette étroite gorge encombrée de locomobiles, de pompes, de dragues, de wagons attelés, de matériaux et d'engins de toute sorte.

Il serait trop long de décrire les divers incidents qui se produisirent pendant ces laborieuses opérations, les dérangements de machines, les déplacements des dragues et des bétonnières toujours difficiles, les alertes occasionnées par les variations du temps, les crues mêmes qui se produisaient encore à la suite des orages et que les galeries de déviation avaient peine à écouler.

Le dragage portait dans chaque zone sur un cube de 700 à 800 mètres à remplacer par un volume à peu près équivalent de béton, et à raison des pertes de temps amenées par les divers motifs que nous venons d'énumérer, ce ne fut que le 12 septembre qu'on pût commencer à remplir la zone du milieu réservée pour la dernière. L'époque des hautes eaux était imminente, des orages éclataient de temps en temps et menaçaient de crues désastreuses en un pareil moment. Le chantier surmené redoubla d'efforts et en six jours la zone du milieu fut remplie et le massif complet des

fondations terminé à la satisfaction de tous. Il était temps, car peu de jours après le Verdon marqua $3^m.80$ à l'échelle, et, surmontant le batardeau, passa sur le massif coulé avec tant de peine. Tous les engins avaient été enlevés, et l'eau ne causa aucune dégradation, malgré la rapidité avec laquelle elle courait sur cette surface à peine durcie.

Le prix du mètre cube de béton coulé dans la fouille était payé 15 francs à l'entrepreneur qui recevait la chaux et le sable et demeurait chargé de toutes les manipulations et main-d'œuvre et du fonctionnement des engins, machines et moyens d'approche.

Construction du barrage au-dessus des fondations. — La partie la plus difficile des travaux était donc terminée, mais l'établissement du mur déversoir ne laissait pas que d'offrir encore bien des éventualités à courir et le succès dépendait toujours des éléments et du régime de la rivière qui avait donné de si fréquents démentis aux résultats de l'observation pendant la première période. Jusqu'à ce qu'on pût obliger le Verdon à passer par dessus le mur, il fallait lui faire sa place et prendre des dispositions pour qu'avant l'arrivée des crues, d'une part, le barrage fut achevé, et de l'autre les galeries de déviation fermées. On avait à placer dans l'une d'elles les vannes de vidange et à établir les maçonneries formant le tampon et les piliers des ouvertures correspondantes.

Voici quel fut le programme d'exécution adopté :

On élèverait le barrage par assises horizontales en laissant vers la rive droite, faisant suite à la galerie et au chenal de déviation, une brèche de 5 mètres d'ouverture. Cette lacune, jointe à la galerie de déviation de la rive gauche, conservait au Verdon le débouché qu'il avait eu pendant la période des fondations.

A l'approche de l'étiage, un batardeau en lit de rivière détournerait les eaux de cette galerie afin d'y établir à sec

tout le massif assez considérable des maçonneries du tampon et des vannes de vidange.

Ce travail étant terminé et la galerie rendue à l'écoulement au moyen des trois ouvertures des vannes, le chantier serait transporté rapidement dans la brèche du barrage que l'on fermerait en toute hâte, en ne laissant plus arriver les eaux de la rivière de ce côté, au moyen d'un batardeau en travers du chenal de la déviation correspondante.

Le succès de ces diverses combinaisons n'était assuré qu'autant que les variations de débit se prêteraient à leur réalisation, et que tout serait terminé dans la période des eaux basses, soit avant le mois d'octobre.

Ce programme ne put se réaliser en entier cette année, par suite des crues du Verdon. Le 9 juin, alors que le massif du mur était arrivé à 5^{m}.40 de hauteur, les eaux de la rivière s'élevèrent jusqu'à 5^{m}.20, et l'on comprend aisément les dégâts qu'elles auraient causés, si leur niveau eût dépassé le couronnement. Les deux galeries et la brèche coulaient à pleins bords, et on peut évaluer à 500 mètres cubes par seconde le volume qui fut débité par le Verdon. Le 2 et le 30 juillet de nouvelles crues se produisirent, et ce ne fut que le 3 août que l'on parvint à poser les pierres du couronnement du mur.

Fermeture et vannage de la galerie de déviation. — A ce moment les eaux étaient basses, et les travaux à faire dans la galerie de déviation de la rive gauche furent immédiatement entrepris et poursuivis jour et nuit avec de très-grandes difficultés et au milieu d'incidents nombreux, et dont le plus grave fut amené par une crue qui se produisit le 16 août. Le niveau des eaux, malgré l'ouverture de la brèche et le passage qu'elles se frayèrent dans la galerie non encore obstruée, s'éleva jusqu'à 0^{m}.40 au-dessous du couronnement du barrage.

L'échelle du pont de Quinson marquait 4^{m}.80 par rapport à l'étiage et le remou occasionné par le barrage donnait à

rées sur lesquelles portait la plate-forme de la grue élévatoire. Une petite locomobile transmettait le mouvement au broyeur et à un chapelet incliné dont les godets prenaient le mortier à sa sortie pour le verser dans les wagonnets que la grue élevait ensuite au niveau des maçons.

Nouvelle organisation des chantiers. — Après la grande crue du 3 octobre 1868, le travail fut suspendu et on commença à s'organiser pour donner le dernier assaut et fermer la brèche du mur. Il eût été trop long et trop coûteux de construire à nouveau le chemin de service le long du Verdon, et nous songeâmes à un autre système consistant à utiliser la cuvette du canal alors terminée. Le niveau du canal était à 10^{m}.65 au-dessus de celui des ateliers, un plan incliné fut installé avec double voie et cable sans fin de manière à élever les matériaux à niveau du plafond où ils étaient reçus dans des wagons et conduits au barrage par un chemin de fer aboutissant à la prise même du canal. Une plaque tournante au bas du plan incliné, et une au sommet le reliaient avec les voies venant des ateliers et celles allant au barrage. Uune locomobile établie au bord du canal montait les wagonnets, et pour utiliser l'excédant de force motrice, on faisait conduire par la machine un broyeur à hélice qui fabriquait le mortier avec le sable et la chaux apportés par le plan incliné sur une plateforme élevée de 2^{m}.79 au-dessus du canal (voir la Pl. 11, *fig.* 1, 10 et 11). Des ouvriers opéraient le mélange à sec, le jetaient dans un couloir incliné menant au broyeur où les matières étaient imbibés au point voulu et réglé par un ouvrier ayant un robinet d'eau à sa disposition.

La voie ferrée installée dans le plafond et ayant une légère pente vers la prise, permettait de conduire les wagons par le seul effet de la pesanteur, et un ouvrier ou deux faisaient franchir le pont jeté de la prise au couronnement du barrage situé à 1^{m}.50 au-dessus des seuils qu'on ne pouvait relever à cause de la hauteur de la voûte.

Ainsi que le montre le dessin (Pl. 11, *fig.* 10 et 11) le plan incliné communiquait soit avec le plafond du canal, soit avec la plateforme au-dessus suivant qu'on montait de la pierre à porter directement au barrage, ou du sable et de la chaux nécessaires à la fabrication du mortier. Deux hommes soulevaient ou abaissaient la dernière partie du plan incliné dans l'un ou l'autre cas (Pl. 12, *fig.* 10 et 11). Cette nouvelle installation fonctionna très-bien pendant toute la période des travaux; elle eut pour conséquence d'en faire organiser une nouvelle pour la confection des maçonneries dans la brèche du mur à fermer.

Fermeture de la brèche du barrage. — Une grue élévatoire fixée sur le couronnement du barrage (voir Pl. 11, *fig.* 8) prenait les matériaux amenés et les descendait aux maçons pour l'emploi. Cet appareil pivotait sur place de manière à se prêter à toutes les opérations.

Avant de commencer le nouveau massif on ferma la galerie de déviation qui aboutissait à la brèche ; et comme de nombreuses filtrations se produisaient, un double batardeau en bois rempli d'argile fut établi dans la partie à ciel ouvert de la déviation.

Cette précaution ne suffisant pas pour débarrasser les maçons des eaux qui passaient encore, une pompe fut placée entre le batardeau et le massif. Les eaux du Verdon étaient déviées vers la galerie de la rive gauche et eu égard à la hauteur donnée au batardeau de la rive droite relié à la partie du barrage déjà construite, on pouvait faire débiter 20 mètres cubes par seconde à la galerie sans être envahi dans le chantier. Il fallait que la rivière restât au-dessous de ce volume au moins jusqu'à ce que le massif de remplissage de la brèche eût atteint la hauteur du batardeau.

Le 11 février 1869 on commença à maçonner en élevant d'abord les parements amont et aval sur $1^m.50$ d'épaisseur afin d'arriver le plus rapidement possible à la hauteur du

bâtardeau. Ces parties s'exécutaient en maçonnerie ordinaire avec mortier composé de volumes égaux de sable et de ciment, et on coulait ensuite dans l'intervalle du béton avec mortier de chaux du Theil qui était amené du haut du couronnement par une bétonnière et un couloir en planches. Le coulage s'opérait par assises horizontales bien serrées et pilonnées contre les maçonneries sur lesquelles était jeté un coulis de ciment de manière à faciliter l'adhérence. Le dessus du béton maintenu à un niveau inférieur à celui des murs amont et aval était ainsi protégé et contenu comme dans une enceinte.

La fermeture complète de la brèche terminée le 10 mars ne marcha pas sans incident et le 20 février notamment une crue surmontant le massif, forma à l'aval une chûte de 7m.50. Les dernières couches de béton coulé sur 1m.20 d'épaisseur furent enlevées, mais il n'y eut aucune avarie dans le massif du parement. Le travail interrompu jusqu'au 4 mars reprit alors avec plus d'activité que jamais et son achèvement compléta celui du barrage après trois campagnes fort laborieuses.

La rivière n'a cessé de surmonter le couronnement du barrage depuis cette époque, et aucune filtration de quelque importance ne se montre sur le parement aval. Des crues fréquentes ont eu lieu, et dernièrement encore il s'en est produit une dont le niveau a atteint la hauteur de 4m.80 au-dessus du couronnement.

Prise du canal. — Les procédés de construction de la prise du canal du Verdon n'ont donné lieu à aucune difficulté exceptionnelle. On a percé le souterrain de l'aval à l'amont et, arrivé aux approches de la façade sur la rivière, un massif de 5 mètres d'épaisseur a été laissé à travers lequel sont pratiquées les galeries correspondant aux quatre ouvertures des vannes de prise d'eau. Après avoir arrasé la surface supérieure de ce massif à 8m.80 au-dessus du seuil du canal, on a entaillé dans le roc un escalier

pour faire communiquer cette plate-forme, destinée à recevoir les appareils de levage des vannes, avec le marchepied laissé sur toute la longueur du canal et qui sert de chemin d'accès au garde-prise logé à la sortie de la gorge. On s'est ensuite occupé des maçonneries de tête, et de celles des galeries géminées correspondant aux vannes et réunies ensuite dans une seule galerie à l'aval, de 4 mètres de largeur.

Vanne régulatrice. — A la sortie des gorges le mur-berge du canal a été coupé par une ouverture armée d'une vanne, placée en vue et à portée du garde-prise logé à 50 mètres de là. A l'aide de ce déversoir de fond on pourra régler le débit du canal sans aller jusqu'à la prise.

Maison du garde-prise. — La maisonnette du garde-prise est établie conformément à un type adopté déjà dans plusieurs lignes de chemins de fer pour le logement des cantonniers. Sa construction n'a rien qui mérite d'être mentionné.

En résumé, ainsi qu'on l'a vu par la description que nous venons de faire, les travaux du barrage sur le Verdon ont présenté des difficultés très-grandes à raison surtout des fondations, et il n'a pas fallu moins de trois campagnes pour arriver à barrer la rivière et en relever le niveau de 12 mètres. La lutte a été pénible et a exigé beaucoup de persévérance, et nous sommes heureux de constater en terminant que nous avons été aidés puissamment par le concours des employés, et notamment par celui de M. Bergier, conducteur des ponts et chaussées, et de M. Lasvignes, ingénieur civil. Les travaux ont en outre été exécutés avec beaucoup d'activité et d'intelligence par M. Gaston Blanc, entrepreneur.

Gap, le 26 février 1872.

NOTE A.

BARRAGE DU CANAL ZOLA PRÈS D'AIX, EN PROVENCE.

Dans le cours de la notice précédente, nous avons eu occasion de mentionner l'existence d'un barrage en maçonnerie formant le réservoir destiné à alimenter un canal qui porte ses eaux d'alimentation à la ville d'Aix (Provence). Quelques renseignements spéciaux sont nécessaires pour donner une idée de ce travail intéressant, conçu par feu M. François Zola, ingénieur d'origine piémontaise.

La ville d'Aix, colonie importante sous la domination romaine, qui y a laissé de nombreuses traces de son passage, était alimentée par trois principaux canaux entièrement maçonnés, creusés sous le sol et amenant à la population les eaux fraîches et limpides de sources prises à leur point d'émergence même. Ces trois canaux avaient une longueur de 65 kilomètres ensemble, et l'un d'eux comportait deux grands ponts aqueducs et un souterrain avec puits, de 9 kilomètres de longueur.

Pendant les époques de désordres et de dissensions qui suivirent la domination romaine, ces eaux ont été détournées, les canaux presque entièrement détruits, et Aix ne recevait presque plus rien de ces belles sources qui fécondent les terrains voisins ou font mouvoir quelques usines.

On y était encore réduit en 1838 à se servir de quelques sources naissant dans la ville ou dans les environs, et pour lesquelles on empruntait divers aqueducs de l'époque romaine. Ces sources réunies ne donnaient pas plus de 10 litres par seconde, pour une population de 25 000 âmes. Préoccupée de cette situation, l'administration municipale voulut se procurer d'autres eaux, elle crut un instant y être arrivée en joignant ses intérêts à ceux de la ville de Marseille; mais l'entente ne put se faire.

A cette époque qui remonte à 1839, M. Zola, ingénieur, propose d'utiliser les eaux de pluie et celles d'un petit ruisseau, à l'aide d'un barrage construit en travers du vallon du Tholonet, à peu de distance d'un mur établi déjà dans ce but pour l'irrigation des terres de M. le marquis de Galiffet.

M. Zola voulait construire dans ce vallon, qui aboutit au village du Tholonet, deux grands barrages en maçonnerie, l'un de 48 mètres de hauteur et l'autre de 30 mètres. Une ordonnance royale

déclara l'utilité publique de ce projet, que son auteur surpris par la mort n'eut pas la satisfaction de réaliser.

D'autres combinaisons furent adoptées, qu'il serait sans intérêt de raconter, et un seul mur a été construit à 6 kilomètres environ de la ville d'Aix; on lui a donné 36 mètres de hauteur, et il occupe l'emplacement choisi par M. Zola pour l'un de ses deux barrages.

La réserve d'eau ainsi créée est alimentée par les eaux de pluie tombant sur les versants supérieurs correspondant à une superficie de 4 000 hectares composée en majeure partie de roches de la formation jurassique. Quant au réservoir en lui-même, il est en entier dans une brèche désignée sous le nom de brèche du Tholonet et de laquelle on extrait des marbres jaunes et rouges de belle apparence. Le volume d'eau emmagasiné est de 2 millions et demi de mètres cubes, mais à raison du niveau donné à la prise du canal, un quart environ de ce volume ne peut être utilisé.

Les eaux de pluie suffisent et au delà à remplir la retenue dans le courant de l'hiver, et le déversoir arrasé à 0m.50 au-dessous du couronnement du mur fonctionne à cette époque; mais on a de la peine à traverser l'été et à desservir, sans interruption, l'alimentation de la ville qui réclame environ 25 litres par seconde.

Le barrage est construit en maçonnerie ordinaire de moellons bruts avec piquage des parements vus. Le mortier a été composé de sable pris à la rivière de l'Arc, et de chaux hydraulique provenant des fours de Saint-Chamas.

Ainsi que le montrent les croquis ci-joints, il a une hauteur de 36m.50 au-dessus des fondations établies sur le rocher formant le Thalweg de la vallée, et est surmonté d'une risberme en maçonnerie de 1m.20 de hauteur. Son épaisseur est de 12.75 à la base et de 5,80 au sommet; la différence est rachetée du côté d'amont par trois retraites de 0.25 chacune, et du côté d'aval par trois inclinaisons successives de $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{20}$, $\frac{1}{5}$, distribuées sur toute la hauteur.

La longueur du barrage est de 7 mètres au bas et 62,50 au haut mesurée suivant les cordes de l'arc de cercle qu'affecte en plan la construction dont la flèche corsespondante est de 11m,50 au sommet.

La section du mur représente une surface de 338m.62 et correspond à une épaisseur moyenne de 9m.32 égale au quart environ de la hauteur totale du mur.

Le poids des maçonneries par mètre courant et en comptant sur 2 200 kilogrammes comme densité, s'élève à 753 742 kilogrammes, et celui du liquide correspondant aux saillies du parement d'amont qui doit s'ajouter au précédent porte à 763 667 kilogrammes

le poids représentant la force de résistance à appliquer au centre de gravité.

La poussée est égale à 648 000 kilogrammes.

En composant ces deux forces on arrive à avoir une résultante passant à $3^{m}.50$ en avant du pied du mur.

Le même calcul appliqué à la partie du mur supérieure à l'assise BB', donne une résultante passant à $2^{m}.50$ en avant du point B, et enfin en considérant l'assise AA' on arrive à trouver qu'au point A la poussée par centimètre quarré est de $7^{k}.43$, la résultante coupant l'assise à $2^{m}.75$ en dedans du parement.

Ces diverses conditions sont loin de répondre à celles que semblerait exiger la stabilité du mur, et on ne peut guère attribuer qu'à la forme courbe sa parfaite résistance aux poussées qui tendent à le renverser.

N° 19

DESCRIPTION D'UN ELLIPSOMÈTRE.

Appareil donnant le développement d'un arc quelconque d'ellipse.

Par M. F. HENRY, conducteur des ponts et chaussées.

Principes sur lesquels repose l'instrument. — L'instrument désigné sous le nom d'*Ellipsomètre* repose sur les principes ci-après :

Quand deux cercles de diamètre *dd'*, *do* (*fig.* 1), doubles l'un de l'autre, sont tangents intérieurement, si le petit tourne dans le grand sans glisser et sans cesser de lui être tangent :

1° Les deux extrémités *o*, *d* d'un diamètre quelconque *od* du petit cercle tracent deux diamètres rectangulaires *dd'*, *d''d'''* du grand cercle ;

2° Tous les points de la ligne passant par le centre *o'* du petit cercle, si ce n'est ses deux points de rencontre *o*, *d* avec la circonférence, tracent des ellipses ;

3° La différence des demi-axes de toutes les ellipses tracées par tous les points constituant le prolongement *dn* du diamètre du petit cercle en dehors du point de contact *d* est constante et égale au diamètre *od* de ce cercle ;

4° Chaque point de contact *m* des deux cercles à un instant donné pendant le mouvement et le point *n'* de l'el-

lipse tracé à cet instant sont sur une normale $n'm$ à cette courbe.

Construction. — Des principes qui précèdent, on déduit facilement la construction de l'appareil :

Les circonférences o et o' de la *fig.* 1 deviennent les circonférences primitives c, c' (*fig.* 4) de deux roues dentées. Le diamètre odn de la *fig.* 1, dont l'extrémité n décrit l'ellipse, est remplacé par l'ensemble des deux tiges horizontales t, t' (*fig.* 3, 4 et 7). Leurs deux axes de figure renferment dans leur plan ce diamètre qui devient ainsi une ligne fictive parallèle à leur direction et équidistante en tous ses points de l'un et de l'autre. La tige n_1 (*fig.* 2, 3, 4 et 7), située dans le plan vertical passant par le point décrivant, remplace la normale $n'm$ (*fig.* 1).

Les tiges t, t' peuvent glisser à volonté dans un guide g (*fig.* 2, 3, 4 et 7), et être fixées également à volonté dans ce guide à une position invariable, au moyen de deux vis de pression.

La tige n_1 glisse à frottement doux dans un guide g (*fig.* 2 et 7) dont l'axe de figure, qui est vertical, tombe en d, à l'extrémité d'un rayon du cercle directeur.

Deux manivelles oo' et $o'o''m'$, liées entre elles au point o', de manière que leurs axes de figure soient constamment dans un même plan vertical, constituent le diamètre de la circonférence génératrice. La pièce $o'g$, formant le guide g des tiges t, t' et la roue dentée génératrice, est folle sur l'axe vertical $o''o'$, et la pièce g' servant de guide à la tige n_1 est folle sur l'axe vertical $g'm'$.

Une roulette graduée r (*fig.* 2, 3, 4, 5 et 7) tourne dans un plan vertical perpendiculaire à la normale n_1 ; son point de contact n avec le plan d'opération représente le point n du diamètre ond (*fig.* 1). Elle est portée par une chape s, qui peut tourner autour d'un axe vertical nn' dans une gaîne formant un côté du parallélogramme p (*fig.* 2, 3, 4 et 7), calé sur les tiges t, t'. Ce parallélogramme est articulé

pour faciliter la roulette à franchir les aspérités qui peuvent se trouver sur son passage.

Enfin, un ressort f (*fig.* 2, 3, 4 et 7) est destiné à régler la pression de la roulette ou celle du crayon ou du tire-ligne sur le plan d'opération.

Par ces dispositions, on comprend que, pendant le mouvement, l'extrémité m' (*fig.* 2 et 7) restera constamment sur la verticale des points de contact des deux roues ; que la tige n_1 glissant dans son guide g', sans que son axe de figure quitte le plan passant par la verticale du point décrivant, occupera successivement la position de toutes les normales, et, se trouvant fixée en z à la chape de la roulette, fera simultanément occuper au plan vertical de cette dernière la position de toutes les tangentes à l'ellipse.

De sorte que, roulant et pivotant en même temps sur chaque élément infiniment petit de la courbe elliptique, cette roulette s'y développera sans glisser et en donnera le développement (*).

Expression des demi-axes des ellipses semblables aux ellipses données. — Nous allons montrer maintenant qu'avec le même instrument on peut décrire une ellipse semblable à une ellipse donnée quelconque.

(*) Si deux tiges de compas au lieu d'une seule ont été employées, c'est pour que le parallélogramme p fixé à leurs extrémités puisse se placer dans l'intervalle qui sépare leur parallélisme, et que la roulette puisse être amenée aussi près qu'il est possible du centre de l'appareil.

Nous avons donné à la roulette graduée un diamètre tel que sa longueur corresponde à une circonférence de 0^m.20 de développement.

On pourrait se servir d'un compteur pour déterminer la longueur du parcours de la roulette ; mais comme il est facile de juger immédiatement à la vue du tracé ou au double décimètre du nombre entier de tours qu'elle a fait, ainsi que des subdivisions à y ajouter, puisqu'elles sont indiquées sur cette roulette, nous croyons le compteur inutile.

Soient A et B les demi-axes de l'ellipse donnée, δ le diamètre de la roue génératrice, b la quantité de laquelle il convient de prolonger le diamètre od de la roue génératrice pour que l'extrémité n du prolongement décrive l'ellipse demandée.

Le demi-petit axe de cette dernière ellipse sera b, et son demi grand axe sera $\delta + b$ (3°). Leur rapport $\frac{b}{\delta + b}$ devant être égal au rapport $\frac{A}{B}$ des demi-axes de l'ellipse donnée, on pourra poser :

$$\frac{b}{\delta + B} = \frac{B}{A},$$

d'où

$$b = \frac{\delta B}{A - B}.$$

Cette quantité b étant fonction de quantités connues, sera connue, et, par conséquent, son expression répondra à toutes les questions de même nature, quelle que soit d'ailleurs la longueur des axes des ellipses dont il s'agira de déterminer le développement.

L'expression du demi-petit axe de l'ellipse semblable à une ellipse donnée quelconque étant :

$$b = \frac{\delta B}{A - B},$$

celle du demi-grand axe de la même ellipse sera :

$$a = \frac{\delta B}{A - B} + \delta = \frac{\delta A}{A - B}.$$

Échelle ou rapport forcé des ellipses semblables aux ellipses données. — Puisque b est le produit du demi-petit axe donné B par $\frac{\delta}{A - B}$, et a le produit du demi-grand

axe donné A par la même expression $\frac{\delta}{A-B}$, on peut en conclure que l'échelle r de forme constante à laquelle l'*Ellipsomètre* peut tracer une ellipse semblable à une ellipse donnée quelconque est :

$$r=\frac{\delta}{A-B}.$$

L'échelle $r=\frac{\delta}{A-B}$ étant subordonnée à la longueur des demi-axes des ellipses données, on voit que l'instrument dont nous nous occupons ne permet pas de les tracer à une échelle donnée quelconque; mais comme l'objet seul de cet instrument est de donner leurs développements, il importe peu que l'échelle soit simple ou compliquée, d'autant qu'on n'a à l'employer qu'une fois comme facteur et une fois comme diviseur pour arriver au résultat demandé, ainsi qu'on le verra à l'article applications.

Cependant nous avons cru devoir faire construire un porte-crayon ou porte tire-ligne (*fig.* 6), pouvant remplacer la chape s (*fig.* 2, 4, 5 et 7) de la roulette r (*fig.* 2, 3, 4, 5 et 7) et le crayon ou le tire-ligne l (*fig.* 6) la roulette elle-même, pour le cas où l'on voudrait tracer une ellipse semblable à une ellipse donnée à l'échelle imposée par le rapport des demi-axes de cette dernière ellipse.

Détermination de la longueur invariable à donner à od $=\delta$. — *Dimension utile de la tige de compas* (t, t'). — On ne pourrait évidemment pas décrire toutes les espèces d'ellipses, puisqu'alors b devrait être infiniment grand; mais on n'a nullement besoin d'un instrument pouvant répondre à une question aussi générale. La valeur du rapport $\frac{a}{b}$ des ellipses employées dans les constructions importantes est toujours comprise entre 2 et $\frac{6}{5}$. Au-dessus de la première

limite l'ellipse serait trop surbaissée, ce qui nuirait à la stabilité; au-dessous de la deuxième, l'ellipse se confond par l'aspect avec le cercle, qu'il est dès lors avantageux de lui substituer, cette courbe étant d'un emploi beaucoup plus commode que l'ellipse.

La plus petite échelle admise dans les épures de construction est de $0^m.005$. D'un autre côté, on peut considérer une ouverture de 40 mètres comme ouverture maxima pour les ponts en pierre. A l'échelle de $0^m.005$, cette ouverture serait représentée par $0^m.20$, et la demi-ouverture par $0^m.10$.

Si l'on pose $0^m.10$ pour le demi-grand axe a de la plus petite ellipse à décrire, celle, d'après les limites adoptées ci-dessus, dont le rapport $\frac{a}{b} = 2$, le petit axe b sera :

$$b = \frac{0^m.10}{2} = 0^m.05,$$

et par suite :

$$\delta = 0,10 - 0,05 = 0,05.$$

En adoptant cette valeur 0.05 pour le diamètre du cercle générateur, on sera certain que toutes les ellipses que l'on pourra avoir à décrire seront représentées à une échelle plus grande que 0,005, ou du moins qui ne descendrait à 0.005 que dans le cas extrême où il s'agirait d'une arche de 40 mètres et de 10 mètres de flèche, c'est-à-dire pour laquelle on aurait $\frac{a}{b} = 2$.

Le diamètre du cercle générateur étant $0^m.05$, le diamètre du cercle directeur sera $0^m.10$.

La plus grande ellipse sera celle pour laquelle le rapport $\frac{a}{b}$ sera le plus petit possible, c'est-à-dire égal à $\frac{6}{5}$. Or, de

$\frac{a}{b} = \frac{\delta + b}{b} = \frac{6}{5}$, on tire $b = 5\delta$, et comme $\delta = 0.05$, on en conclut :

$$b = 5 \times 0.05 = 0.25,$$
$$a = \delta + b = 0.30.$$

Toutes les ellipses dont les demi-axes ont entre eux des rapports compris entre 2 et $\frac{6}{5}$ seront donc comprises entre les deux ellipses ayant respectivement :

La première : 0.10 pour demi-grand axe, et 0.05 pour demi-petit axe.
La seconde : 0.30 pour demi-grand axe, et 0.25 pour demi-petit axe.

La tige de compas devra donc être telle qu'elle puisse porter le plan de la roulette graduée à 0.30 de l'origine des axes (*).

Applications. — L'arche d'un pont est formée d'une demi-ellipse N″N‴N^{IV}..... désignée par E (*fig.* 1); ses demi-axes principaux sont ON″ = A et ON‴ = B.

(*) Pour décrire une ellipse ayant entre demi-grand axe et demi-petit axe un rapport inférieur à $\frac{6}{5}$, il suffirait évidemment d'employer des tiges d'une longueur supérieure à $0^m.30$, et, pour en tracer ayant entre grand axe et petit axe un rapport supérieur à 2, de placer la roulette à une distance de l'origne des axes inférieure à $0^m.10$.

On remarquera toutefois que si, d'une part, on est libre d'augmenter indéfiniment la longueur des tiges, d'autre part, on ne peut les raccourcir que jusqu'à une limite déterminée par la construction même de l'appareil. Car en rapprochant la roulette du pied de l'instrument, il arrivera un moment où le support de la normale viendra buter contre son guide, et empêchera cette roulette de se placer à moins de $0^m.06$ de l'origine des axes. Il s'ensuit donc que, par l'allongement des tiges, on pourra obtenir des rapports aussi petits que l'on voudra, et que, par leur raccourcissement, le plus grand rapport qu'il sera possible d'atteindre aura pour expression $\frac{0.06}{0.01} = 6$.

On demande :

1° *Le développement de cette demi-ellipse.* — Désignons par ε l'ellipse inconnue qui est semblable à E.

Nous savons que l'échelle à laquelle l'*Ellipsomètre* peut décrire ε semblable à E est :

$$r = \frac{\delta}{A - B}.$$

Nous en concluons :

$$a = Ar,$$
$$b = Br.$$

Portons sur les deux axes rectangulaires indéfinis $\alpha\alpha'$, $\beta\beta'$, la valeur Ar du demi-grand axe a, de o en n et de o en n''; celle Br du demi-petit axe b, de o en n''' et de o en n^{IV} (*). Plaçons ensuite l'instrument de manière que deux diamètres rectangulaires de la roue directrice tracés à l'avance sur sa base q (*fig.* 2, 3, 4 et 7) coïncident exactement avec les deux axes $\alpha\alpha'$, $\beta\beta'$, et que le point zéro de la face graduée de la roulette tombe exactement sur le point extrême n du demi-grand axe a. Cela fait, nous décrirons la demi-ellipse $nn'n'''n''$ (*fig.* 1) en poussant la tige du compas dans le sens courbe du mouvement; et le développement que la roulette accusera à l'autre extrémité n'' sera le développement de la demi-ellipse semblable à l'ellipse donnée.

Si nous désignons ce développement par d, le développement D de grandeur naturelle ou d'exécution sera :

$$D = \frac{d}{r} = \frac{d(A - B)}{\delta}.$$

(*) Les axes se rapporteront à l'aide d'une règle de divisions égales à celles de la roulette ou à l'aide de cette roulette elle-même, en la développant suivant les deux diamètres à partir de l'origine.

Dans la question posée, il suffirait à la rigueur de rapporter un seul des axes; mais en les rapportant tous les deux et en faisant passer la roulette à leurs extrémités, on s'assurera ainsi que l'instrument a été bien placé. On procédera de même pour toutes les questions à résoudre.

2° *Le développement d'un arc quelconque* N^vN^{vi}, *situé entre les deux axes.*— Les coordonnées des extrémités N^vN^{vi} de cet axe sont :

$$X^v \text{ et } Y^v \text{ pour } N^v,$$
$$X^{vi} \text{ et } Y^{vi} \text{ pour } N^{vi}.$$

L'échelle à laquelle on décrira ε semblable à E étant $\frac{\delta}{A-B}$, on aura :

Coordonnées du point n^v : $x^v = X^v r$ et $y^v = Y^v r$,
Coordonnées du point n^{vi} : $x^{vi} = X^{vi} r$ et $y^{vi} = Y^{vi} r$.

Rapportons les points n^v, n^{vi} sur le plan d'opération ; plaçons l'instrument comme il vient d'être dit, portons le zéro de la roulette graduée sur l'un des points et décrivons l'arc $n^v n^{vi}$. Si le développement de cet arc est d', le développement D' de son homologue N^vN^{vi} sur l'ellipse donnée sera :

$$D' = \frac{d'}{r} = \frac{d'(A-B)}{\delta}.$$

Si l'arc prenait origine sur l'un des axes, on n'aurait évidemment que les coordonnées d'un point à calculer.

Tableau graphique pour calculer le développement d'un arc d'ellipse quelconque.

Au moyen de l'ellipsomètre que nous venons de décrire, nous avons construit un tableau graphique (*fig.* 8), donnant très-rapidement la longueur du développement d'un arc d'ellipse quelconque, toutes les fois que le rapport du grand axe au petit axe est compris entre 2 et $\frac{6}{5}$ (*).

(*) On comprend aisément que les limites de rapports des axes entre lesquelles on s'est maintenu n'ont rien d'absolu, et pourraient être étendues dans les deux sens autant qu'on le désirerait.

Les lignes courbes du tableau sont les lieux géométriques d'arcs égaux mesurés de $0^m.005$ en $0^m.005$, à partir du grand axe, sur toutes les ellipses à différences d'axes égales à $0^m.10$, et dont le rapport de grand axe à petit axe est compris entre les deux limites ci-dessus.

Les lignes se croisant rectangulairement de centimètre en centimètre, sont destinées à faciliter le tracé des coordonnées pour la détermination des points de courbes, et à empêcher les erreurs qui pourraient résulter des variations du papier, si on portait des dimensions sur le tableau avec une mesure invariable.

Développement du quart de l'ellipse. — L'échelle ou le rapport de chacun des demi-axes a et b des ellipses du tableau à chacun des demi-axes A et B des ellipses données semblables est $\varepsilon = \frac{a-b}{A-B} = \frac{0.05}{A-B}$.

Si $A = 6^m.22$ et $B = 3^m.50$: $\varepsilon = \frac{0.05}{6.22 - 3.50} = 0^m.0183823$, le demi-petit axe b homologue à B sur le tableau $= 3.50 \times 0.0183823 = 0.064338$. On portera $0^m.064338$ de O en S. Le point S tombera entre les deux courbes de développements $C = 0^m.140$ et $C' = 0.145$. En appliquant le bord d'un double décimètre au point S, et le faisant tourner jusqu'à ce qu'il mesure $0^m.005$ entre la courbe C et la courbe C', on lira alors $0^m.00345$ entre la courbe C et le point S. Ajoutant $0^m.00345$ à $0^m.140$, on aura $0^m.14345$ pour la cote du point S. Le développement du quart de l'ellipse donnée sera donc $\frac{0.14345}{0.0183823} = 7^m.804$.

Développement d'un arc quelconque d'ellipse. — 1° L'arc donné prend naissance sur le grand axe de l'ellipse donnée, et se termine entre ses deux axes en un point M de la courbe. $A = 4^m.65$, $B = 3^m.85$. Abscisse X du point $M = 2^m.50$, ordonnée Y du même point $= 3.24623$. L'échelle du tableau étant $\varepsilon = \frac{0.05}{A-B}$, on aura $\varepsilon = \frac{0.05}{4.65 - 3.85} = 0^m.0625$, x homologue à $X = 2.50 \times 0.0625 = 0.15625$, y homologue à $Y = 3.24623 \times 0.0625 = 0.202889$. Ces coordonnées x et y porteront le point m homologue du point M, entre les courbes de développements $0^m.255$ et $0^m.260$.

Calculant comme ci-dessus le développement de l'arc compris

entre le développement $0^m.255$ et le point m, on trouvera $0^m.001$. Le développement de l'arc donné sera donc de $\frac{0.255 + 0.001}{0.0625} = \frac{0.256}{0.0625} = 4^m.096$.

2° Les extrémités de l'arc donné sont situées entre les axes de l'ellipse.

On calculera deux développements à partir du grand axe, et leur différence exprimera la rectification demandée.

3° L'arc donné est situé partie à droite et partie à gauche du petit axe de l'ellipse.

On développera isolément la partie à droite, puis la partie à gauche, et l'on fera la somme des deux développements.

renseignements spéciaux sur le service qu'elles font, sur la dépense des réparations, etc.

19. Des meilleurs genres de freins appliqués aux chemins de fer sur une grande échelle; résultats généraux de leur emploi sur les plans inclinés et sur les voies de niveau; usage de la fonte, du bois et d'autres matériaux pour les sabots de freins.

20. De la meilleure manière d'utiliser la résistance du piston comme frein sur les chemins de fer (contre-vapeur).

21. Des chemins de fer des rues et du meilleur mode à suivre dans leur exploitation.

22. De l'alimentation d'eau des villes, en y comprenant une description des sources d'alimentation, des différents modes employés pour recueillir et filtrer les eaux, des divers ouvrages accessoires, de la distribution à domicile et des résultats pratiques en général.

23. Étude théorique et pratique des pompes et des autres machines propres à élever l'eau, y compris les moteurs hydrauliques.

24. Emploi de la vapeur dans l'agriculture.

25. Théorie et pratique des procédés modernes employés pour chauffer et ventiler les grands édifices.

26. Des lois qui régissent l'écoulement de la vapeur et des autres gaz dans les tuyaux, et des expériences qui peuvent servir à déterminer ces lois.

27. Du meilleur emploi pratique de la vapeur dans les machines; effets des différents modes employés pour produire la condensation.

28. Résultats donnés par les meilleurs systèmes de machines marines, notamment au point de vue de l'économie à réaliser sur les frais d'exploitation par le surchauffage, l'étendue des surfaces de condensation, la grande détente, la haute pression, etc.

29. Des emplois mécaniques de la vapeur substituée à bord des navires au travail de l'homme, dans le chargement et le déchargement des marchandises, le levage des ancres, la manœuvre des voiles, etc.

30. Construction d'usines disposées en vue de fabriquer du gaz d'un grand pouvoir éclairant et sans mélange de composés sulfureux, de sulfure de carbone notamment. Du système de distribution le plus économique, et des meilleurs modes d'éclairage dans les rues et dans les bâtiments.

31 De l'entretien, à l'aide de chasses, des ports de France, de Belgique et de Hollande.

32. Des travaux maritimes exécutés à l'embouchure de la rivière Maas et des effets ainsi obtenus.

33. Construction de barrages à marée ou autres, dans une eau de profondeur constante ou variable; emploi de la fonte et du fer dans leur construction,

34. De l'acier et de son état présent, au double point de vue de la production et de l'emploi qu'on en fait.

35. De l'effort maximum qu'on peut faire supporter à la fonte, au fer et à l'acier; résultats d'expériences faites sur la limite d'élasticité de longues barres de fer, sur les progrès de l'oxydation, sur l'effet que des vibrations ou un travail prolongé peuvent avoir sur la résistance des essieux, des chaînes, des arbres de transmission, etc.; tension et compressions relatives du fer et de l'acier sous des charges égales qui n'excèdent pas les limites d'élasticité de ces métaux.

36. Moyens employés pour forcer des puits à travers de grandes profondeurs de sable bouillant ou d'autres terrains sans consistance.

37. Des différentes méthodes employées pour assécher des portions de mines isolées à grande distance.

38. Des meilleures dispositions à donner aux machines qui servent à comprimer l'air et aux appareils hydrauliques qui transmettent la force motrice au fond de mines profondes.

39. Théorie et pratique des méthodes en usage pour la ventilation artificielle des mines où l'on exploite le charbon ou les métaux.

40. Du lavage du charbon menu et de la fabrication du combustible artificiel.

41. De la préparation et de l'emploi de la tourbe; machines employées à cet effet.

42. Des systèmes et appareils présentement usités en télégraphie.

43. Translation pneumatique de trains lourds à travers des tunnels et de poids légers à travers des tuyaux. Comparaison des deux systèmes au point de vue de l'économie.

Après ce programme de questions, la circulaire indiquait diverses mesures d'ordre auxquelles doivent satisfaire les mémoires envoyés. Ces mémoires ne peuvent être admis à concourir pour les prix, ni même être lus à une séance de l'Institution, s'ils ont été lus déjà devant quelque autre société savante ou publiés sous une forme quelconque. Membres titulaires ou simplement associés de l'Institution, anglais ou étrangers, tous les ingénieurs sont admis au concours.

Le conseil de l'Institution vient de décerner les prix annoncés. Ils ont été attribués au nombre de huit, savoir :

1. A M. Bradford Leslie, pour son compte rendu du pont construit sur la rivière Gorai (prolongement du chemin de fer de l'Est du Bengale).

2. A M. Carl Liemens, pour son mémoire sur les tubes à expédier les dépêches.

3. A M. William Bell, pour son mémoire sur les efforts produits dans les arcs rigides, les poutres continues et les pièces courbes.

4. A M. John Herbert Latham, pour sa description du canal de Soonkesala (compagnie d'irrigation et de navigation de Madras).

5. A M. Georges Gordon, pour son mémoire sur la valeur, l'emmagasinage et la distribution de l'eau dans l'Inde méridionale.

6. A M. Frédérick-Augustin Abel, pour son mémoire sur les matières explosives appliquées à l'industrie.

7. A M. Bashley Britten, pour son mémoire sur la construction de la grosse artillerie au point de vue de l'économie des forces mécaniques qu'elle emploie.

8. A M. Charles Andrews, pour son mémoire sur le dock Somerset, à Malte.

Onze prix, consistant également en médailles et en livres, avaient été distribués aux auteurs des meilleurs mémoires présentés durant la session 1870-71. Voici quels étaient les sujets traités dans ces mémoires, avec le nom des auteurs :

1. Bernard Samuelson. — Description de deux hauts-fourneaux construits en 1870 à Newport, près Middlesbrough.

2. Jules Gaudard (de Lausanne). — Théorie et détails de construction des archés en métal ou en bois.

3. Alexandre Beazeley. — Des signaux phonétiques à employer sur les côtes en temps de brouillard.

4. Thomas Dawson Ridley. — Description des bâtardeaux construits pour l'entreprise n° 2 de l'endiguement de la Tamise.

5. James Price. — Essai des rails, description d'une machine construite à cet effet.

6. Walter Raleigh Browne. — Résistance des portes d'écluses.

7. Sir Francis Charles Knowles. — La vis d'Archimède ou l'hélice donnant le travail maximum de propulsion.

8. Hamilton Ela Towle (de New-York). — Description du bassin, du balance-dock et des voies spéciales de la marine (*Marine railways*) à l'arsenal autrichien de Pola, sur l'Adriatique.

9. George Banks Rennie. — Description de docks flottants et plus particulièrement de ceux de Carthagène et du Ferrol.

10. Arthur Jacob. — Traitement des matières d'égout.

11. Wilfrid Airy. — Emploi de la vis d'Archimède pour l'élévation de l'eau.

Le programme de 1871 et les sujets traités dans les mémoires qui ont obtenu les prix sont des indices intéressants et instructifs de l'état actuel de l'art. On peut y voir quelles sont actuellement les préoccupations techniques de nos voisins d'outre-Manche en matière de travaux publics.

É. M.

LA QUESTION DES TRANSPORTS EN ALLEMAGNE.

Par M. V. KRAFFT, ingénieur des ponts et chaussées.

Les questions soulevées par la *crise des transports* en Allemagne ont donné lieu à une manifestation qui paraît digne d'intérêt en présence de ce qui se passe en France.

Un congrès commercial tenu à Leipzig au mois de mai 1872 a voté les déclarations suivantes :

1. L'écart entre ce que le commerce et le trafic ont le droit de demander aux chemins de fer et les services rendus par ceux-ci est apparu en 1871 d'une manière encore plus frappante qu'à aucune autre époque.

L'irrégularité du service, les accidents accumulés les uns sur les autres et le défaut de sécurité qui en résulte pour les personnes et les marchandises ne trouvent que partiellement leur explication dans les événements de la guerre, et montrent que les administrations des voies ferrées ont évalué trop bas l'accroissement naturel incessant du trafic et ne s'y sont pas préparées avec la prévoyance désirable.

Les causes spéciales à signaler sont : le manque de wagons et de locomotives, l'extension insuffisante des installations des gares, en particulier des gares de marchandises et des voies de garage, *ainsi que la construction à une seule voie de bien des lignes importantes.*

2. Pour amener une solution satisfaisante, il importe non-seulement d'augmenter la concurrence, mais avant tout d'écarter ou d'éviter les fautes techniques dans la construction et dans l'exploitation des chemins de fer. Il faut favoriser :

La concurrence des voies navigables avec les chemins de fer, en particulier la régularisation d'anciennes voies existantes et la construction de nouveaux canaux de naviga-

tion, qui a été complétement négligée par les gouvernements depuis une génération d'hommes ;

La concurrence de nouveaux chemins de fer à construire avec les anciens, concurrence qui a été, dans ces dernières années, entourée de toutes sortes de difficultés par le refus ou l'ajournement des concessions demandées ou par les conditions inacceptables dont elles ont été grevées ;

La fixation d'un tarif uniforme pour les marchandises en dehors des wagons complets, comme cela a été fait, par exemple, en Alsace-Lorraine (*);

L'augmentation du nombre des voies et une séparation du service des voyageurs et de celui des marchandises.

On a particulièrement insisté sur l'article suivant :

3. Tous les droits de surveillance mis dans les mains de l'État par la constitution de l'empire et par certaines lois locales (par exemple la loi prussienne sur les chemins de fer du 3 novembre 1838) doivent être exercés d'une manière sérieuse et avec insistance.

Avant tout, on demande la formation d'une administration centrale pour le contrôle des chemins de fer de l'empire, qui devra ne pas procéder seulement contre les abus qui lui sont dénoncés, mais veiller d'office à l'observation des articles 41-47 de la constitution de l'Empire.

En particulier, il importe d'obtenir que les correspondances des trains, qui sont sujettes à de si grands troubles aux embranchements de lignes concurrentes, soient rétablies au profit du public, de façon à supprimer tout séjour inutile dans les gares d'embranchement.

(*) Les tarifs de marchandises, petite vitesse, sont extrêmement simplifiés en Alsace-Lorraine. Pour les marchandises payant au poids, il n'y a qu'un seul tarif ; pour les wagons complets, deux tarifs : l'un pour les wagons ouverts et l'autre pour les wagons fermés. L'expéditeur qui loue un wagon complet peut y mettre indifféremment tous les objets à sa convenance et c'est aux destinataires du wagon à faire la répartition.

4. En ce qui concerne les tarifs, on doit accueillir favorablement toute réduction, lors même qu'elle mènerait transitoirement à des faveurs différentielles ou à une plus grande complication du tarif, ou qu'elle ne serait accordée que pour un temps limité ou pour l'expédition de quantités importantes. Mais il est de l'intérêt des administrations de chemins de fer non moins que du public, toutes les fois que, sous la pression de la concurrence, on introduit une diminution, d'examiner si elle n'est pas susceptible d'être généralisée.

5. En ce qui concerne la responsabilité pour la détérioration ou la perte des marchandises, on demande instamment que la législation de l'empire supprime le privilége accordé aux chemins de fer par les articles 424 et suivants du code commercial allemand, qu'elle assimile complétement la responsabilité de ces entreprises à celle des transporteurs ordinaires, et que notamment l'article 423 reçoive, avec la suppression de toutes les exceptions, l'addition suivante :

« Les contrats particuliers (règlements, réserves, etc.) par lesquels les obligations légales du transporteur sont limitées ou supprimées, n'ont pas d'effet légal. »

D'après cela, l'article 427 du code de commerce allemand devrait également disparaître, en ce qu'il stipule que le dédommagement dû pour la détérioration ou la perte de marchandises transportées est à régler, non d'après la valeur vénale ordinaire comme le veut l'article 396, mais d'après un taux normal fixé d'avance par des règlements ou autrement.

De plus, le congrès a voté une somme de 800 thalers pour aider à couvrir les frais d'une enquête sur l'état de la navigation sur les canaux et les rivières de l'Allemagne, enquête provoquée par l'*Association pour l'amélioration de la navigation sur les canaux et les rivières de l'Allemagne.*

ARTICLES INSÉRÉS DANS LES ANNALES. — CONDITIONS STIPULÉES AU PROFIT DES AUTEURS.

Il peut n'être pas inutile de rappeler les conditions stipulées au profit des auteurs dans le marché que l'administration a passé le 3 mai 1866 avec M. Dunod, éditeur des *Annales*, pour une période de seize années comprise entre le 1er janvier 1865 et le 31 décembre 1880.

Quinze exemplaires brochés de chacun des mémoires, y compris les planches, sont remis à l'auteur.

L'éditeur fait exécuter des tirages à part, aux prix indiqués ci-après, pour les auteurs qui en ont fait la demande au moment même où ils envoient leurs manuscrits à l'administration :

	francs.
1° Par *feuille de texte*, et pour le premier cent d'exemplaires	10,00
Pour chaque centaine en plus	5,00
2° Par *planche* et par cent exemplaires	10,00
3° Pour *brochage, couverture et faux frais* : pour une feuille unique de texte	2,50
Pour chaque feuille supplémentaire et chaque planche	0,25
4° Pour un *titre spécial imprimé*	10,00

Les auteurs qui ne pourraient s'entendre avec M. Dunod pour la publication et la vente de leurs mémoires extraits

des *Annales* et qu'ils voudraient publier séparément peuvent, avec l'autorisation de l'administration, traiter avec tout autre éditeur, et, dans ce cas, les planches de cuivre et les bois des *Annales* leur seraient prêtés pour les tirages qu'ils auraient à faire. Mais la mise en vente de ces mémoires ne pourrait avoir lieu qu'un an au moins après la publication de la dernière des livraisons des *Annales* auxquelles ils auraient été empruntés. É. M.

BIBLIOGRAPHIE.

LITHOLOGIE DU FOND DES MERS

PAR M. DELESSE, Ingénieur en chef des mines.

Analyse par M. GARIEL, Ingénieur des ponts et chaussées.

L'étude des mers est une des plus compliquées que l'on puisse se proposer lorsque l'on veut en saisir tous les côtés divers; mais l'étendue des masses d'eau qui les composent, le rôle capital qu'elles jouent appellent invinciblement l'attention, et l'on sait gré aux savants qui s'efforcent de nous en dévoiler les secrets. Qu'il s'agisse des mouvements des océans, mouvements périodiques ou réguliers, marées ou courants; qu'il soit question de la configuration du sol sous-marin, de sa composition; que dans un autre ordre d'idées, des renseignements précis soient fournis sur les êtres en nombre presque indéfini qui pullulent à toutes les profondeurs, un intérêt réel s'attache à des travaux qui, pour être possibles seulement, exigent une civilisation très-avancée.

L'ouvrage que vient de publier M. Delesse, ingénieur en chef des mines, ne traite qu'un nombre restreint de questions comme son titre l'indique : « *Lithologie du fond des mers.* » Mais si l'on considère que des recherches même très-limitées sur les mers exigent l'exploration de surfaces énormes, puisque l'on peut évaluer la superficie occupée par les divers océans à 250 millions de kilomètres quarrés environ, on comprendra que l'on est en présence d'un travail d'une grande importance, auquel la position et les connaissances spéciales de l'auteur donnent une valeur incontestable. L'étude même sommaire des volumes qui composent cet ouvrage et des cartes qui les accompagnent confirme pleinement la première impression, et pour notre part, nous avons vivement regretté qu'il ne nous fût pas loisible de nous livrer à un examen complet, pour lequel il eût fallu plus de temps que nous ne pouvions en disposer et qui eût exigé la pleine connaissance de questions que nous ne possédons que très-imparfaitement. Aussi n'a-

vons-nous pas la prétention d'émettre une opinion sur la valeur de cet ouvrage; mais, tout en regrettant qu'une analyse plus complète ne soit pas faite et qu'une plume plus autorisée ne remplace pas la nôtre, nous nous efforcerons de mettre en évidence les points principaux sur lesquels il nous a semblé utile d'appeler l'attention des ingénieurs des ponts et chaussées qui pourront y trouver des renseignements intéressants; cette énumération, bien qu'incomplète, montrera cependant que le livre de M. Delesse intéresse nos collègues plus que le titre ne semble l'indiquer. Les questions auxquelles nous faisons allusion ne sont pas absolument complètes ni entièrement nouvelles, mais il est réellement utile et avantageux de les avoir ainsi réunies et reliées les unes aux autres.

M. Delesse ne s'est pas borné à étudier les positions des dépôts marins ou à réunir les résultats des explorations qu'il a faites ou sur lesquelles il a pu avoir les renseignements les plus certains : il donne d'abord l'indication de la méthode suivie pour étudier la nature des dépôts lacustres ou marins : cette méthode nous a paru d'une application simple, et il nous semble que le traitement des matières déposées dans les ports, dans les rivières aux diverses époques de l'année, dans les parties qui ont été submergées pendant une inondation, pourrait présenter des résultats assez intéressants et probablement même assez utiles à connaître et à discuter au point de vue de leur origine et des conditions nécessaires à leur accumulation, pour qu'il fût à souhaiter que la pratique de cette analyse se répandît. Un chapitre sur l'*orographie de la France et de ses côtes sous-marines*, qui est une esquisse largement tracée, complète la première partie de l'ouvrage de M. Delesse; ces chapitres ne remplissent d'ailleurs qu'un nombre restreint de pages.

La deuxième partie est consacrée à l'étude des causes diverses qui concourent à former les dépôts marins; ces causes sont multiples : les unes n'intéressent pas directement l'ingénieur; d'autres, au contraire, ont un rapport plus ou moins intime avec les travaux qu'il peut être appelé à diriger, et il importe d'appeler l'attention sur certains faits, certaines remarques signalées dans ce livre.

Signalons d'abord une étude de la distribution des vents en France, de leur mode d'action; des tableaux contenant un grand nombre d'observations (appendice), une carte, complètent les observations générales. Les dunes dont la formation et les changements sont dus à l'action des vents sont caractérisées d'une manière succincte dans ce chapitre, et l'on trouve à l'appendice les renseignements les plus précis sur leur composition aux divers points de notre littoral.

L'action de la pluie sur les terrains contribue à la formation des dépôts marins. L'étude de la distribution de la pluie présente donc un intérêt réel à ce point de vue; d'autre part, cette étude a montré que la quantité d'eau tombée dans une région est soumise à certaines règles générales; qu'elle dépend du relief du sol, de l'altitude des vents régnants, de la direction des vallées. Les chiffres fournis par de longues séries d'observations ont permis de dessiner sur une carte spéciale les courbes *hyétographiques* qui permettent de se rendre compte rapidement de cette distribution de la pluie; une carte semblable a été dressée également pour l'Angleterre et l'on y trouve la confirmation des règles précédemment indiquées. Sans vouloir parler de la nécessité de posséder ces renseignements au point de vue de l'agriculture, du drainage, des irrigations, on comprend qu'ils puissent fournir des données précieuses sur les régimes des rivières et fort utiles pour l'étude des projets de canaux, de réservoirs, etc.

Nous ne ferons que signaler en passant des considérations générales sur les rivières, leur mode d'action au point de vue de l'érosion de leurs berges; sur les conditions du transport des débris relativement à la vitesse du cours d'eau, à la nature des roches du fond; sur la composition et la quantité des matières tenues en suspension; sur la marche des sables et des gros débris et sur les crues. Le seul énoncé de ces questions montre l'intérêt de ce chapitre pour les ingénieurs des ponts et chaussées, bien que les renseignements y soient un peu sommaires.

Si les rivières sont des agents d'entraînement, elles sont également susceptibles de donner naissance à des dépôts, *barres* ou *deltas;* on trouve dans l'ouvrage de M. Delesse quelques indications sur la manière dont se forment ces dépôts, sur la nature des masses qui les composent. Enfin, cette étude sommaire sur l'influence des cours d'eau est terminée par l'énoncé de principes relatifs à la position des ports.

La mer, considérée également comme agent d'érosion, contribue pour une assez grande part à la formation des dépôts marins; un chapitre lui est consacré. On trouve des renseignements sur le mode d'action de la mer en général, sur les effets produits par les vagues, par les courants, par les marées, renseignements qu'il faudrait aller chercher de côté et d'autre dans des ouvrages spéciaux que l'on n'a pas toujours à sa disposition.

Le chapitre suivant contient des considérations générales sur l'orographie du fond des mers et sur les dépôts marins; bien que moins directement utiles aux ingénieurs, ces considérations pré-

sentent cependant un réel intérêt : les notions sur la forme du fond des mers, sur les relations qui existent en général entre les dépressions du sol sous-marin aux environs des côtes et le relief du rivage ne sont pas sans pouvoir être mises à profit.

Les questions que nous venons de signaler constituent la deuxième partie de l'ouvrage de M. Delesse : C'est celle dans laquelle les ingénieurs trouveront le plus grand nombre de renseignements spéciaux susceptibles de les intéresser.

La troisième partie est consacrée à l'étude des dépôts littoraux des côtes de la France, à la comparaison de ces dépôts avec les dépôts sous-marins et à la répartition des mollusques sur les côtes de France. Il est impossible, on le conçoit, d'analyser un semblable travail ; mais nous nous bornerons à dire que nous l'avons parcouru avec intérêt, que nous y avons rencontré beaucoup de faits qui nous ont paru dignes d'être notés, et nous ne doutons pas que, plus compétent sur les questions spéciales qui y sont traitées, nous eussions pu en recueillir davantage. Cette troisième partie n'est évidemment pas destinée à être lue de suite, mais à être consultée sur toutes les questions qui ont rapport au *fond des mers* qui baignent la France.

La quatrième partie comprend la lithologie des mers *principales* du globe. L'étude de la nature et de la répartition des différentes roches qui constituent le fond des mers intéresse assez peu, en général, les ingénieurs des ponts et chaussées dont les travaux ne s'étendent qu'à de faibles distances du rivage. Aussi, et malgré l'importance réelle des chapitres qui constituent cette quatrième partie, nous ne croyons pas devoir insister davantage. C'est également une source de renseignements précieux qui peuvent être fort utiles à un moment donné.

La cinquième partie, purement théorique, intéressera à un point de vue spéculatif toutes les personnes qui s'occupent de géologie; M. Delesse a tenté de faire la description des mers de France aux différentes époques géologiques; il fait, comme il le dit, la *paléogéographie* de notre pays. L'étude des cartes qui représentent la France à diverses époques ne saurait manquer de fournir de précieux renseignements pour la paléontologie, sur les faunes contemporaines des terrains successifs, sur leur localisation, etc. M. Delesse a fait ressortir la difficulté de semblables restaurations et prévient que dans des recherches de ce genre, « *une part très* « *large doit nécessairement être faite à l'hypothèse.* »

Signalons dans cette partie un chapitre qui touche à une question d'un très-vif intérêt, *l'oscillation des côtes de France.* Des

élévations et des dépressions ont pu être signalées d'une manière certaine sur un assez grand nombre de points du littoral : ils ont été indiqués avec soin par M. Delesse et ont été en outre notés sur une carte.

Le second volume contient, sous forme de tableaux, les renseignements complets qui ont permis à l'auteur d'étudier des questions diverses avec certitude, et en s'appuyant sur des bases solides, sur des observations très-nombreuses. Ce peut être là une source de données numériques qui, à l'occasion, présentent une grande valeur et offriraient une certitude presque absolue.

Il nous reste à parler des cartes qui sont une partie importante de l'ouvrage et qui pourraient jusqu'à un certain point remplacer le texte qui n'en est presque que le commentaire. Ces cartes (cartes lithologiques des mers de France, d'Europe, d'Amérique), qui sont d'une très-grande clarté, montrent, par un choix habile des conventions faites et des procédés employés, non-seulement l'orographie du sol et du fond des mers, mais encore la nature des roches qui constituent celui-ci, la nature des dépôts, les courants, les lignes hyétographiques, les lignes cotidales. On peut étudier ainsi l'ensemble des questions que l'on voit plus complétement dans le texte, mais seulement par détail ; aussi pensons-nous que la lecture attentive de ces cartes doit conduire à d'importantes remarques qu'il serait plus difficile et plus long de déduire du texte.

Une série de cartes de France aux diverses époques géologiques est spécialement curieuse pour les géologues. Elles sont d'ailleurs à une moindre échelle que la carte lithologique de la France qui est un exemple intéressant des résultats que l'on peut obtenir en s'efforçant de parler aux yeux. Les difficultés sont probablement aussi grandes pour préparer et surveiller la confection de cartes de cette nature que pour réunir les observations sur lesquelles est basé le tracé des cartes diverses qui s'y trouvent ; mais aussi l'étude est plus attrayante et plus fructueuse.

Il ne faut rien exagérer cependant, et les cartes seules seraient insuffisantes ; mais texte et dessins se complètent réciproquement et contribuent à faire de la « *Lithologie du fond des mers* » un ouvrage auquel devra s'adresser, dans un grand nombre de circonstances, l'ingénieur dont les travaux ont un rapport plus ou moins direct avec les mers et les côtes.

TABLES

DES MÉMOIRES ET DOCUMENTS

PUBLIÉS EN 1872.

1er SEMESTRE.

PREMIÈRE TABLE.

RÉCAPITULATION GÉNÉRALE PAR ORDRE D'INSERTION.

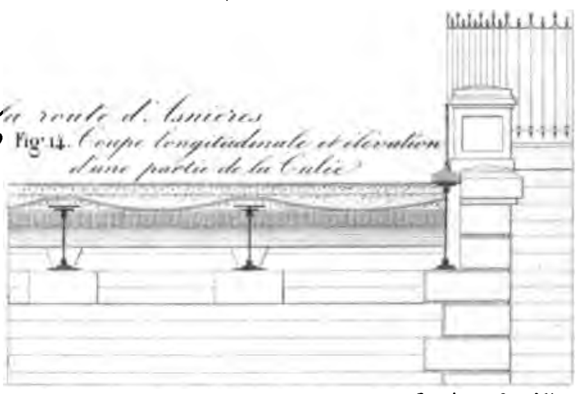
DEUXIÈME TABLE.

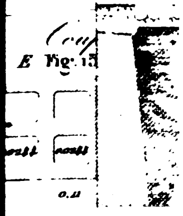
ANALYSE DES MATIÈRES PAR ORDRE ALPHABÉTIQUE.

FIN DES TABLES DES MÉMOIRES DU 1er SEMESTRE DE 1872.

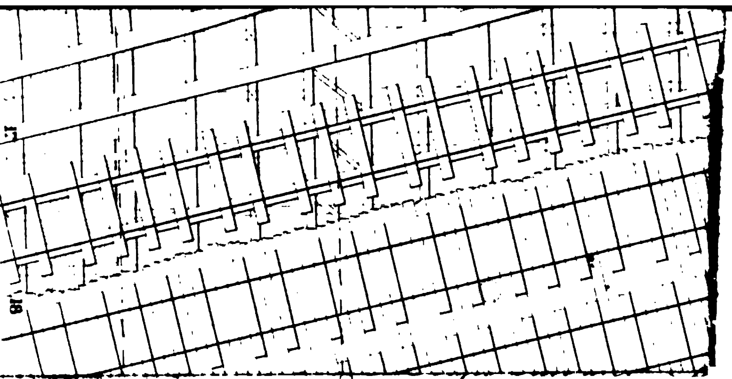
L'*Éditeur-Gérant* : Dunod. — 1268 — Paris. — Imp. Cusset et Ce.

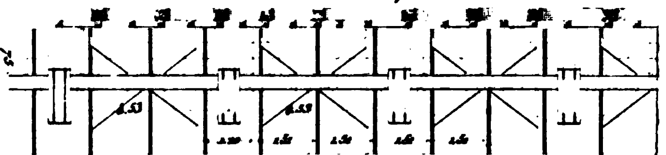
...rrefour de la route d'Asnières

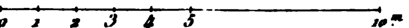




Gravé par Lamblin.







Gravé par Lamblin.

E FER

1872 Pl. 3.

provisoire.

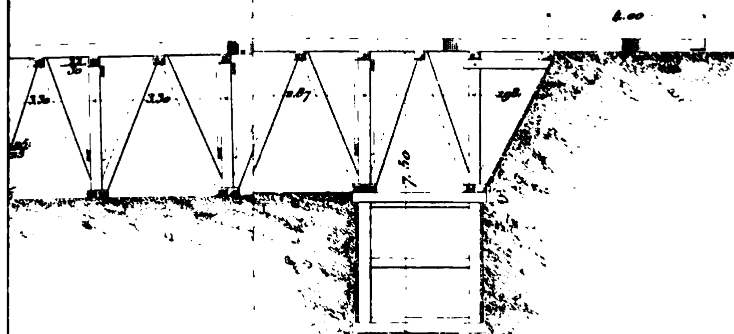
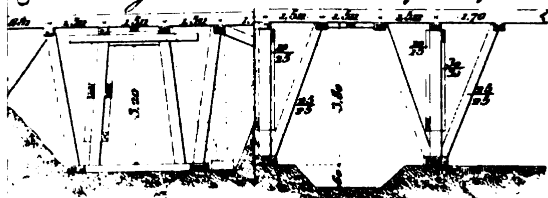
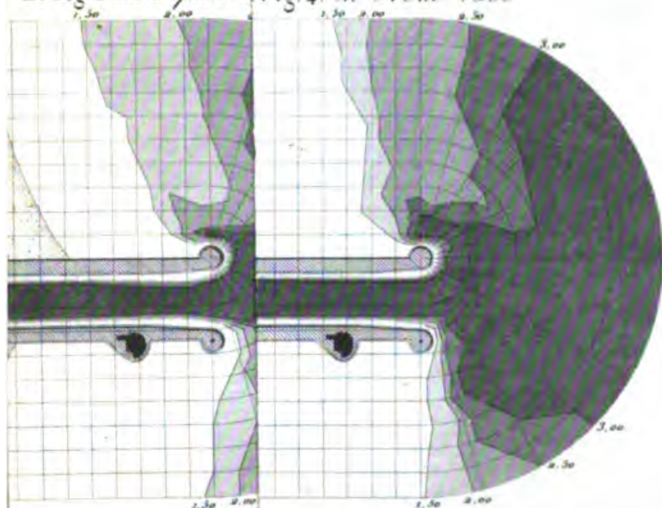


Fig. 6. *Elargissement évantails définitifs.*



diverses.

Fig. 11. Fig. 14. Fig. 15.


Sº du Roi
B. Fig. 3 22 Septembr
Fig. 4. 20 Mai 1865
1,50
2,00
2,50
3,00

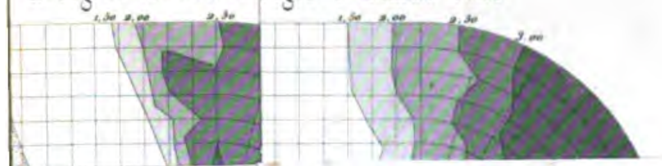
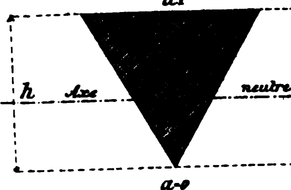
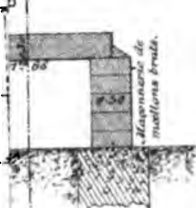

B. Fig. 5. 16 Janvie
Fig. 6 5 Juillet 1866
1,50
2,00
2,50
3,00

Fig. 2.

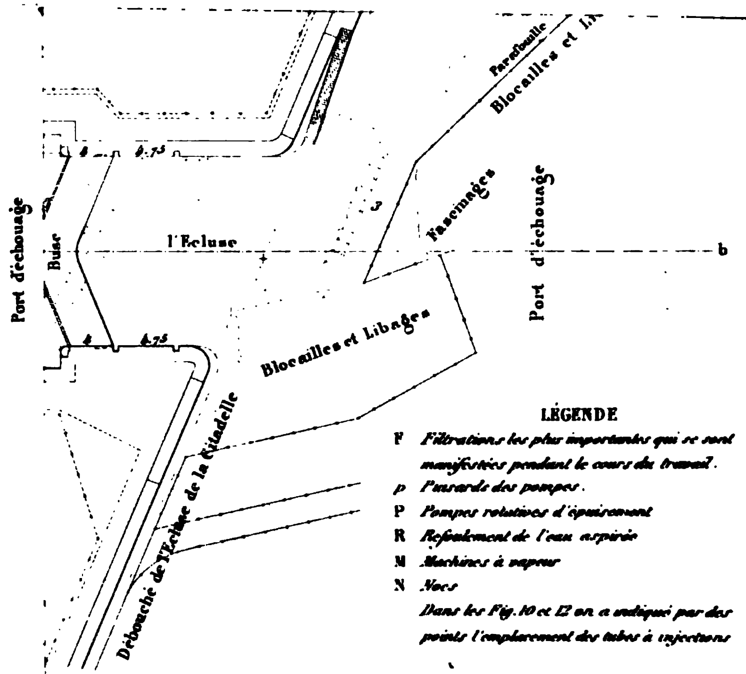


ğ. 13.
.ot de portée maxima
pris de Casaux.



es fig. 7 et 13.

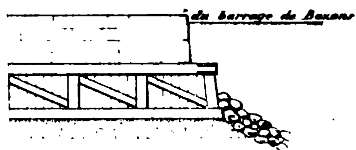
Lemaitre del. et sc



Gravé par R. Pérot.

longitudinale
caisson mobile

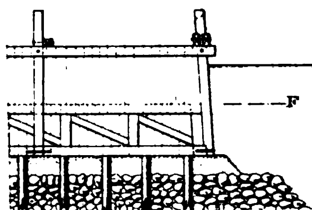
ivant CD



ersale

longitudinale

n



elle A de 0m01 pour 600 mètres

2000 3000 4000

elle B de 0m01 pour 900 mètres

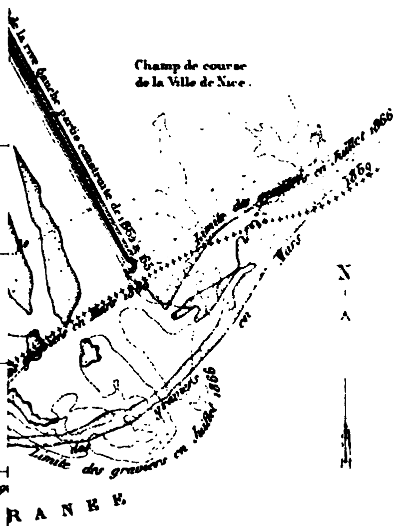
3000 4000 5000 6000

elle C de 0m01 pour 1800 mètres

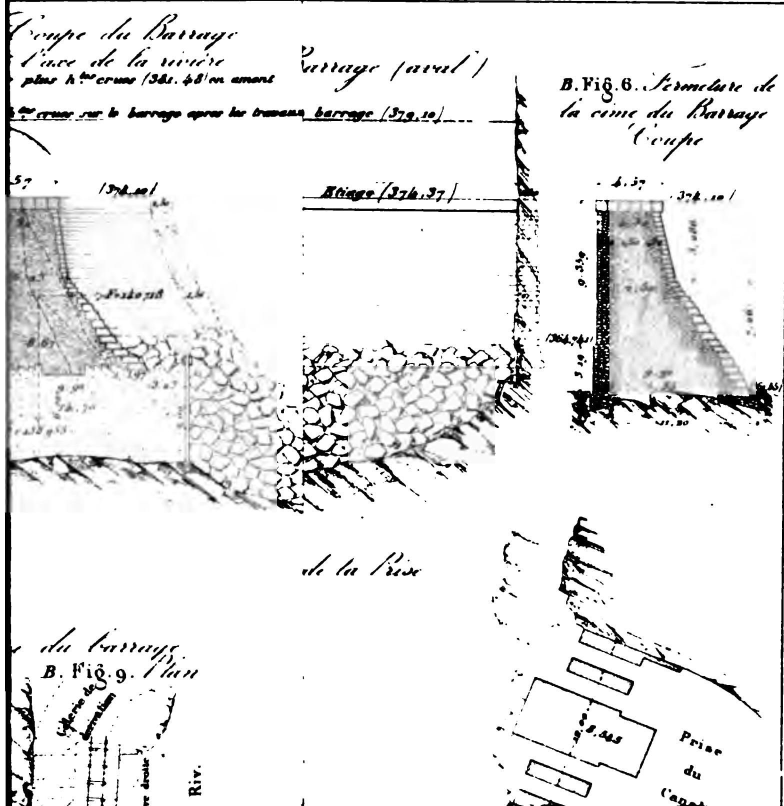
5000 10000

elle D de 0m005 pour 300 mètres

300 400 500 600 700 800 9



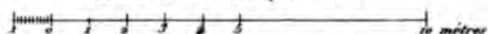
Gravé par E. Pérot


Coupe du Barrage
l'axe de la rivière
plus h.tes crues (381.48) en amont
Barrage (aval)
Etiage (374.37)
B. Fig. 6. Fermeture de la cime du Barrage Coupe
de la Prise
du barrage
B. Fig. 9. Plan
Riv.
Prise du Canal

A. Fig. 9. *Coupe suivant* EF.



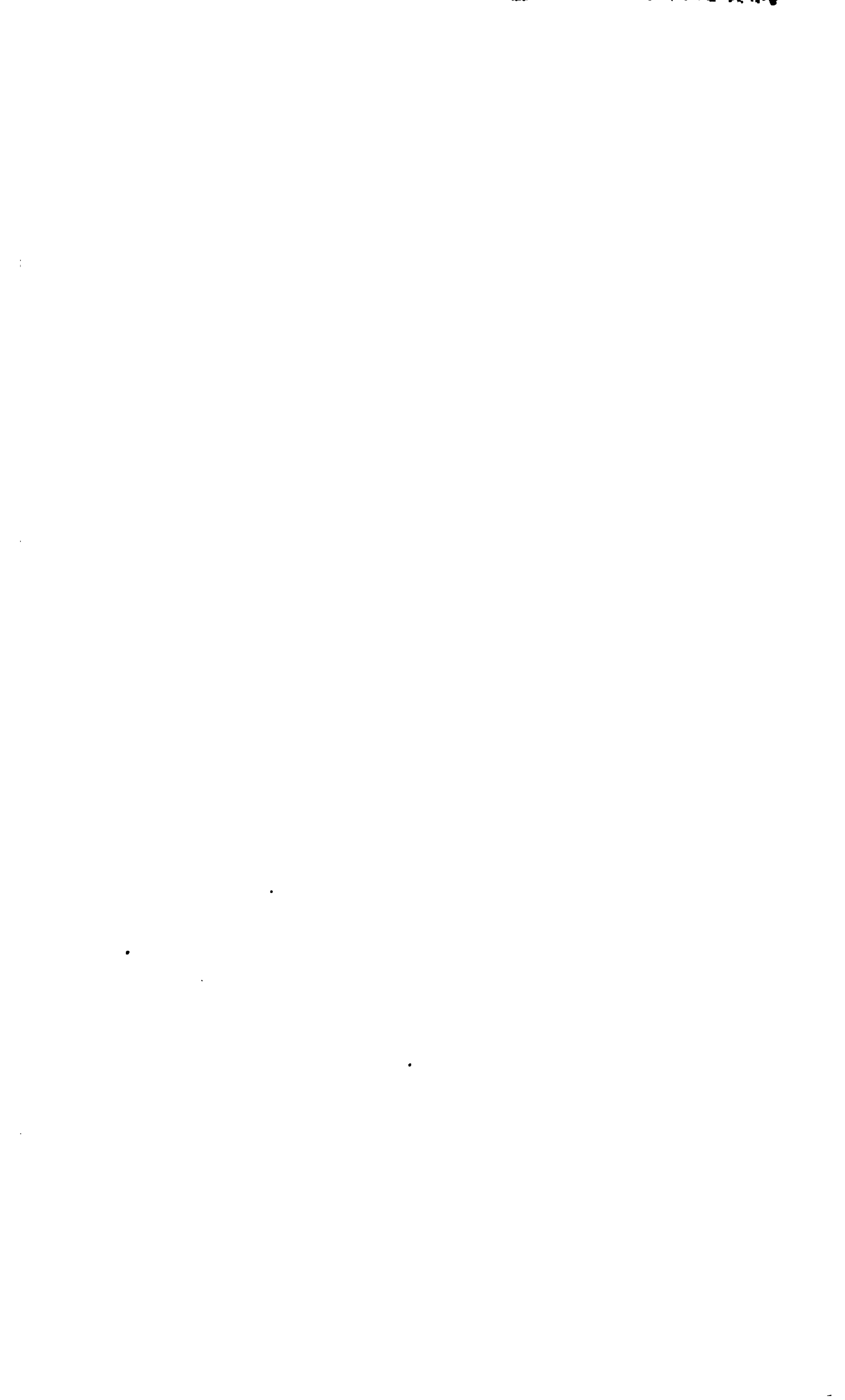
Echelle A de 0m 005 pour 1 m.

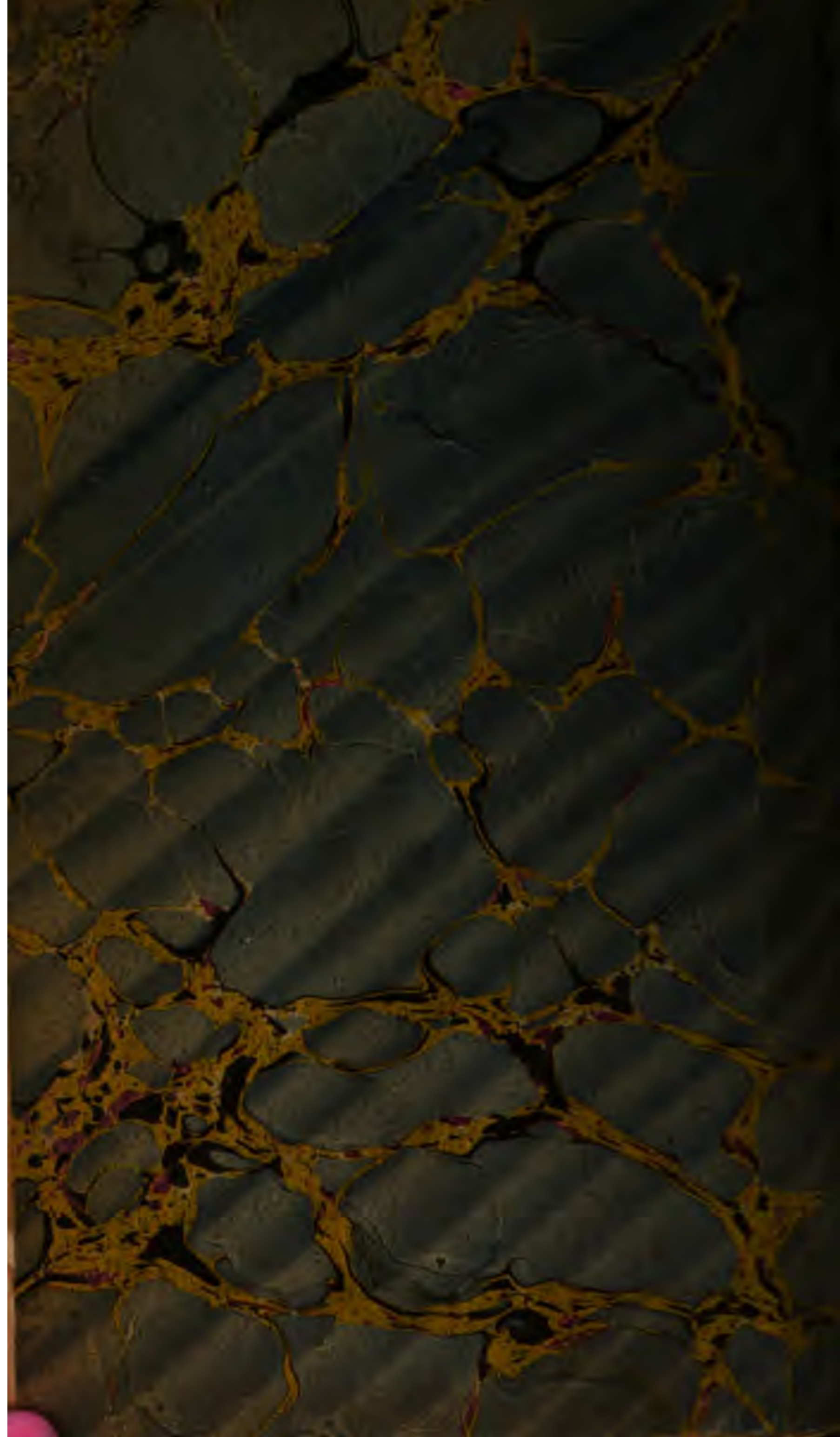


Echelle B de 0m 01 pour 1 m.



Gravé par E. Pérot.






3 9015 06559 7885






UNIVERSITY OF MICHIGAN
3 9015 06559 7885